

長岡技術科学大学 正員 河原 能久
長岡技術科学大学 正員 後藤 巖
ミサワホーム 青木 恭彦

1. はじめに

ヒートパイプは高性能の伝熱素子として注目され, 様々な用途が開発されている。土木分野では, アラスカパイプライン, トンネルのつらら防止, 路面凍上・凍結防止, 路面融雪に用いられた例がある。しかし, 低温下でのヒートパイプ単体の伝熱特性に関しては未だ不明な点が多く, 実用上の問題点ともなっている。本報告は, ヒートパイプの伝熱特性に与えるヒートパイプ傾斜角, 加熱条件, 冷却条件の影響を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

(1) 実験装置 表-1 に使用したヒートパイプ (以下 H.P と略す) の仕様を示す。この

表-1 ヒートパイプ仕様

管材質	スチール
作動液体	タンモニア
埋設方式	重力
全長	3,000 mm
外径	34 mm
肉厚	3.4 mm
ウェッブ	なし (コイル封入)
封入液量	蒸気空間: 約 5%
封入地	外壁に防錆塗装

H.P はサーモ・サイフォンに属するものである。図-1 に後述の実験 (II), (III) の装置概略を示す。H.P への加熱・冷却は, H.P 両端にとりつけられた各ジャケットに, ポンプで温水・冷水を送水することにより行った。温水・冷水はそれぞれヒーター, 氷により一定温度に調整された。また, ヒートパイプ傾斜角の変化はチェンブロックを用い行った。なお, 実験 (I) の装置は冷却方式と冷風吹きつけとしたため, 実験 (II), (III) のそれと比較して冷却水循環装置の部分のみが異なっている。

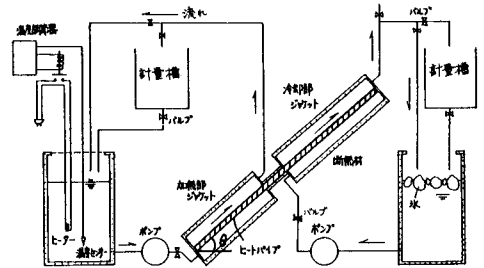


図-1 実験装置概略 (II, III)

表-2 実験条件

	I	II	III
加熱部長さ L_h		118	cm
断熱部長さ L_a		42	cm
冷却部長さ L_c		140	cm
加熱部流量 Q_h	170 cm ³ /s	65 cm ³ /s	65, 105, 180 cm ³ /s
加熱部水温 T_h	12 °C	19 °C	14, 19, 23 °C
冷却部流量 Q_c	3.4 m ³ /s	75, 105, 180 cm ³ /s	110 cm ³ /s
冷却部水温 T_c	-10 °C	4 °C	4 °C
傾斜角 θ	20° - 90°	10° - 40°	6°

* 冷風風速, ** 冷風温度

(2) 実験条件 表-2 に実験条件を示す。H.P 各部の長さも一定としたまま3種類の実験を行った。実験 (I) は H.P 傾斜角の影響とみる目的のものであり, 傾斜角を 20° ~ 90° まで 10° ごとに変化させた。実験 (II) は H.P 傾斜角の影響と冷却部熱伝達の影響を検討するために傾斜角を4ケース, 冷却部流量を3ケース変化させたものである。実験 (III) は加熱部水温, 加熱部流量とそれぞれ3ケース変化させ加熱部熱伝達の影響を調べたものである。

(3) 測定項目 ヒートパイプ管壁温度が定常になった後, 次の項目を測定した。加熱部・冷却部流量 (計量槽使用), 冷風風速 (熱線風速計), 各点温度 (T 形熱電対, $\phi 0.32$ mm) である。温度測定点数は約 40 点であり, ヒートパイプ管壁に埋め込んだものは 29 点である。熱輸送量はカロリー法により得た。

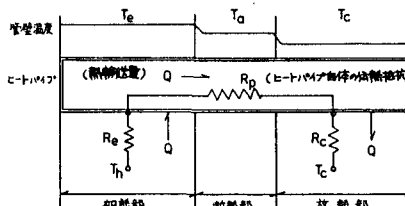


図-2 ヒートパイプの伝熱回路

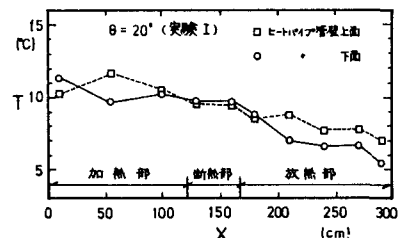


図-3 ヒートパイプ管壁温度分布

3. 実験結果及び考察

まず、図-2にH.P.における熱の流れと電気回路の類推を示す。図中の R は伝熱抵抗、 Q は熱輸送量、 T は温度である。本報告で着目するのは、熱輸送量 Q 、加熱部・冷却部温度差 ΔT_{ec} ($=T_e - T_c$)、ヒートパイプ自体の伝熱抵抗 R_p ($=\Delta T_{ec}/Q$)である。

(1) H.P.管壁温度分布 測定例として実験(I)の傾斜角 2.0° の結果を図-3に示す。放熱部温度は冷風温度(-10°C)より十分高く、放熱部全長が有効に作動していることがわかる。このことは、すべてのケースにみられた。なお、風はH.P.下面より吹きつけている。

(2) H.P.傾斜角の影響 図-4にH.P.自体の伝熱抵抗とH.P.傾斜角との関係を示す。図より、傾斜角 $10^\circ \sim 30^\circ$ にかけて R_p はやや減少するが、さらに鉛直に近づけても変化しないと考えられる。

(3) H.P.加熱部熱伝達の影響 H.P.自体の伝熱抵抗と加熱部熱伝達率($h_e = 1/\delta_e R_e$; δ_e :加熱部板厚、 R_e :加熱部伝熱抵抗)との関係を示したものが図-5である。横軸はヌセルト数($Nu_e = h_e d/\lambda$; d :ヒートパイプ管径、 λ :水の熱伝導率)表示にしてある。図より、 R_p と Nu_e の間には高い相関があり、加熱部流量を増せば R_p が減少すること、実験範囲内では熱輸送量が一定であれば加熱部温度が低いほど R_p は減少することが知られる。

(4) H.P.冷却部熱伝達の影響 R_p と冷却部熱伝達率との関係(横軸はヌセルト数表示)を示したものが図-6である。実験範囲内では、冷却部流量を増すにつれ、 R_p は減少する。

(5) H.P.伝熱抵抗と熱輸送量との関係 H.P.の内部の量問の関係として R_p と Q との関係を示したものが図-7である。H.P.加熱部温度によって分類され、いずれも熱輸送量が増加するに伴い、 R_p は減少することが知られる。

(6) 熱輸送量と加熱部放熱部温度差との関係 H.P.内部の量相互の関係の他の1つとして Q と ΔT_{ec} との関係を図-8に示す。温度差が増加するにつれ熱輸送量が増す。曲線は冷却方法により2つに分けられるように思われるが、これは追加実験で確認する予定である。

* 末尾ながら本実験に協力していただいた三井建設技術研究所の方々に謝意を表します。

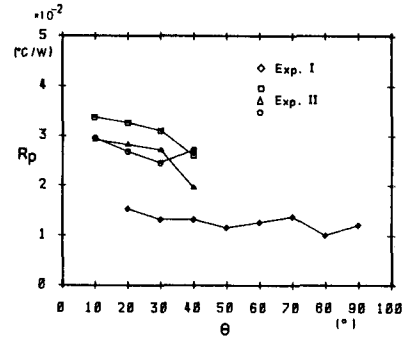


図-4 ヒートパイプ自体の伝熱抵抗と傾斜角との関係

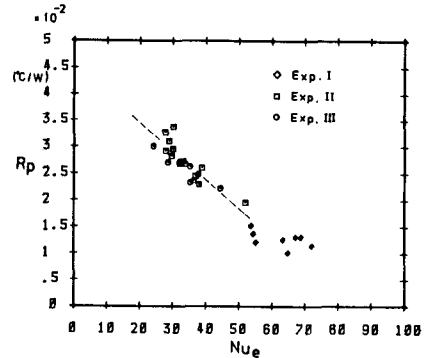


図-5 ヒートパイプ自体の伝熱抵抗と加熱部ヌセルト数との関係

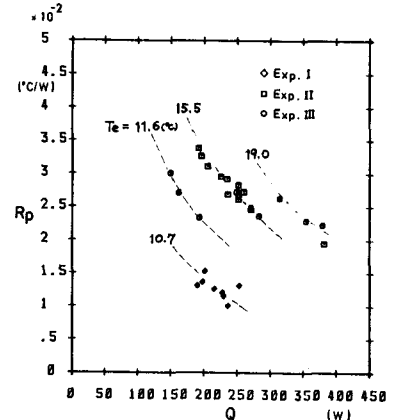


図-6 ヒートパイプ自体の伝熱抵抗と冷却部ヌセルト数との関係

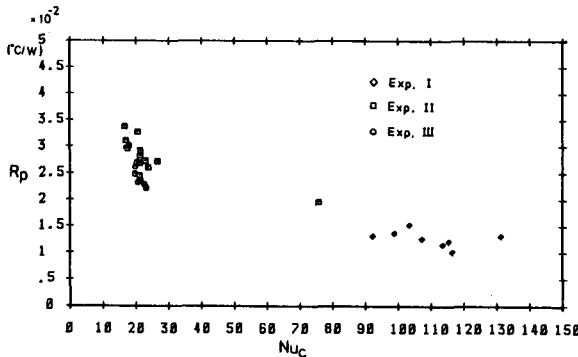


図-7 ヒートパイプ自体の伝熱抵抗と熱輸送量との関係

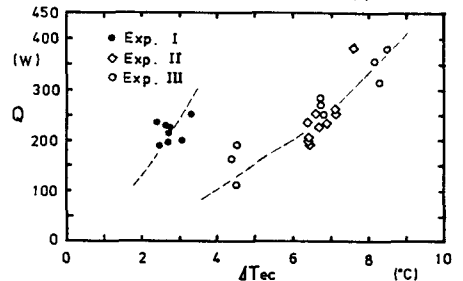


図-8 熱輸送量と加熱部放熱部温度差との関係