

水膜内水流が復氷速度を抑制

対馬勝年（富山大・理）

1. はじめに

復氷過程では氷が融けた分だけワイヤーは前進し貫入速度を与える。その場合、ワイヤーを通る熱流が貫入速度 V を決めると考えられる。しかし、ナイロン線から銀線まで 2000 倍に熱伝導率が変わっても、 V がなぜ僅か 10 倍程度の違いしか生じないのか疑問とされていた。この疑問は「水膜の流れ」に着目すれば解決されると思われる。水が後方に流れた分だけワイヤーは前進するという解釈も成り立つからである。

2. 水膜の流れ

水膜が薄すぎれば界面の影響を受けて水の粘性抵抗が大きくなり、流れの抵抗が増して水膜内の水は殆ど流れず、水膜がある厚さに達したときスムーズな流れが発生すると仮定しよう。水に流れをもたらすのは圧力勾配であり、水の粘性と水膜厚さが流れに影響する。水の流れが V の抑制原因になっていると考えれば、熱伝導率の影響の小さい理由に納得がいくであろう。流量は水膜内の圧力勾配に比例するから、最大圧力一定の条件ではワイヤーが太さに反比例して V が減少すると考えられる。

3. 銅線太さの貫入速度に及ぼす効果

銅線の場合、熱伝導率は水の 700 倍もあり、ワイヤー太さ 0.1 ~ 0.5mm 程度では温度差の殆どが水膜内に発生し、ワイヤー内の温度差は無視できるほど小さい。したがって、水膜厚さがワイヤーの太さによって変わらないと仮定すれば、熱流解析では最大圧力一定の条件下では貫入速度は太さによって変わらないはずである。しかし、実測(図 1)は熱流解析と異なり、太いワイヤーほど V が遅かった。しかひ、これは水膜流に対する圧力勾配が太いワイヤーほど小さいことと一致する。つまり、水膜流れが V を抑制していることを支持する結果となっている。

V の実測から、金属ワイヤーを流れる熱流、水膜を流れる熱流を計算できる。ワイヤー前面の水膜を流れる熱流 q は水膜内温度差 $\Delta T_{\text{水膜}}$ と水膜厚さ d の比に水の熱伝導率 $k_{\text{水}}$ をかけたものに等しい。問題なのは温度差も d も未知数な

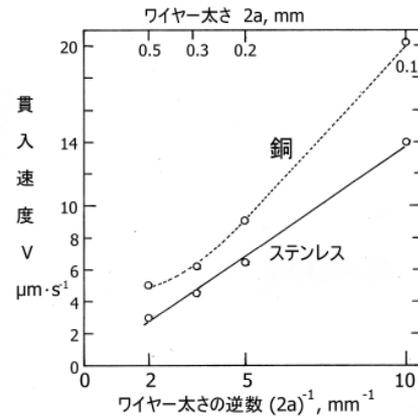


図1 貫入速度 V とワイヤー太さの逆数の関係

ためどちらも決定できないことである。さらに、ワイヤー後面水膜の圧力が負圧になっている場合、その大きさが不明なこと、負圧がワイヤー前面の氷の融点降下に影響を与えることも問題となる。しかし、ワイヤー後面の蒸気泡の大きさから負圧の大きさを推定し、均一厚さ水膜を仮定すればワイヤー下面で d の最大値を決定できる。ナイロン線の場合はワイヤー後面は部分的な復氷となり未凍結の水が氷表面まで続いているから、ワイヤー後面の水は 0°C と確定できる。それゆえ、水膜内温度差が決定できそうに思われるが、この場合も氷を流れる熱流を無視できないため、単純にはいかない難しさがある。

ワイヤーの太さと最大圧力が同じなら、ワイヤーの種類によらず水膜厚さはほぼ似た値になるであろう。水膜が厚すぎれば圧力で後方に迅速に運ばれ、逆に薄すぎれば水の流れが遅く水膜が厚くなり、ある一定値(幅あり)になると考えられる。水の流れは水の粘性係数にも依存する。Jellinek が平滑面に対する氷の剪断付着力の測定で水膜の粘性係数が界面の影響を受けて著しく増大すると報告している。この関係が復氷にも当てはまると仮定すれば、水膜が薄くなるほど粘性係数が大きくなることになり、水膜がある厚さを維持するのに好都合となる。

水膜は境界膜や境界層の厚さを含み、単純ではないと思われる。