

3 自動車部品を想定した断熱性能評価方法の検討(第2報)

羽原雄太, 長谷川浩治, 筒本隆博

Study on evaluation method of thermal transmission properties for automotive parts (2nd Report)

HABARA Yuta, HASEGAWA Koji and TSUTSUMOTO Takahiro

In automobile development, heat management attracts attention as a method for reducing fuel consumption of combustion engine. The high-performance heat insulation is necessary for that development. Evaluation of thermal transmission properties of the heat insulation requires a lot of time and cost. Therefore we proposed the two simple methods to evaluate the heat insulation performance in the previous report. In this report, one of them was improved by using the water cooling apparatus. As a result, measurement time was reduced to less than 20 minutes. Furthermore, the heat conductivity of the low density sample was estimated with an error of 10% or less.

キーワード: 断熱材, 熱貫流率, 温度測定

1 結 言

自動車製造業においては、環境に配慮した自動車づくりは急務の課題である。車体の軽量化や熱効率の良いエンジン開発が進む中で、熱の有効利用に注目が集まりつつある。例えば、夏場でのエアコンの使用は、自動車の燃費を1～数%悪化させるため、キャビンの断熱性能を向上させることで、0.1～1%程度の燃費改善の可能性がある。それが達成されれば、自動車メーカーに大きなインパクトを与えることができる。また、各サプライヤー企業においてこの改善の価値は極めて高く、今後、高性能断熱材の開発を推進することが、ますます重要になる。

これらの開発では、部材の断熱性能の評価が必要となるが、自動車部材に合った断熱性能の評価方法は確立されていない。現状では、建材用の断熱性能評価方法(JIS A1412)を評価基準として用いることもあるが、その方法が自動車部材の断熱性能の評価に適しているかは定かでない。

そこで、第1報¹⁾では自動車部材を対象に、断熱性能を簡易かつ迅速に評価する方法として、自然冷却法および加熱電力法の2つの方法について測定装置を試作し、いくつかの自動車用断熱材の断熱性能を評価した。その結果、試料ごとの相対比較による評価が可能であることを確認した。一方で、実用的な観点から、測定時間のさらなる短縮と測定精度の向上が課題であることがわかった。そのため本研究では、空冷の自然冷却法による装置を水冷銅板で強制冷却できる強制水冷法の装置に改良し、測定時間の短縮と測定精度向上への効果を検討した。

2 強制水冷法による断熱性能評価方法

図1に測定方法の概要を示す。まず、中心部の温度が測定できるように熱電対を挿入した薄い蓄熱銅板の両側を測定試料で挟んだ試験体を準備し、その試験体を80℃恒温槽に入れ一定温度になるまで昇温する。その後それらを取り出し、0℃の水が循環する水冷銅板で挟み、薄い蓄熱銅板の中心部の温度変化をデータロガーにて記録する。この時、図2に示すように断熱性能の高低により銅板中心部の温度の冷却曲線は変化する。

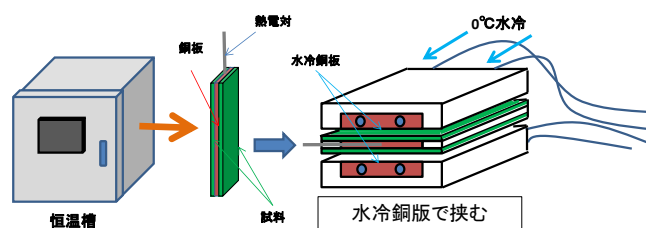


図1 測定方法の概要

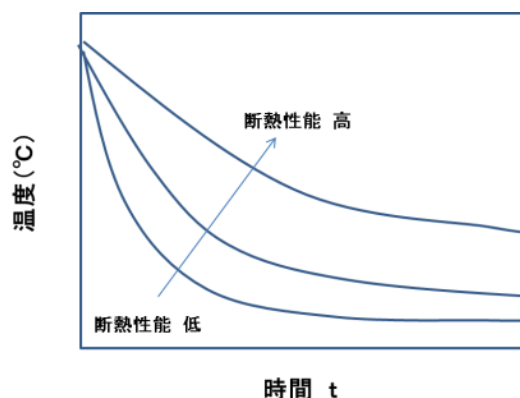


図2 強制水冷法で予想される銅板の温度変化

この冷却曲線は、ニュートンの冷却の法則から²⁾、銅板の温度を T (K)、初期温度を T_0 (K)、水温を T_m (K)、測定試料の冷却銅板に触れる面積を S (m^2)、銅板の熱容量を C (J/K)、試料の熱貫流率を κ (W/m^2K)、時間を t (s) とし、取り囲んだ断熱材を通した熱移動は十分に小さいと仮定すると、これらの関係は、次式で表される。

$$\ln\left(\frac{T-T_m}{T_0-T_m}\right) = -\frac{\kappa S}{C}t \quad (1)$$

図3は式(1)の左辺を縦軸に時間の関数として示したもので、その傾きから測定試料の熱貫流率 κ を求めることができる。この方法は温度の時間変化から κ を求めるため、非定常的な測定方法である。また、熱伝導率 λ (W/mK) は試料の厚さを d (mm) とし、次式を用いて熱貫流率 κ から算出した。

$$\lambda = \kappa d \quad (2)$$

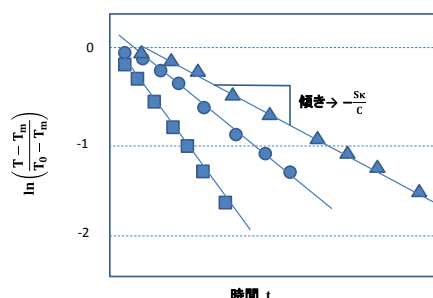


図3 温度変化の式(1)によるプロット

実際に蓄熱銅板を試料で挟みこんだ試験体の様子を写真1に示す。今回使用した銅板の寸法は $100mm \times 100mm \times 2mm$ である。熱電対は、直径 $1mm$ のシース型を使用した。次に、強制水冷装置を写真2に示す。今回の検討では $0^\circ C$ の氷水を水冷銅板内に循環させた。水冷銅板の周りを取り囲む断熱材は熱伝導率が $0.02(W/m^2K)$ 、厚さ $12mm$ の旭化成製ネオマフォームを使用した。温度記録用のデータロガーはキーエンス製 NR-500 を使い、サンプリング周期は $1sec$ とした。

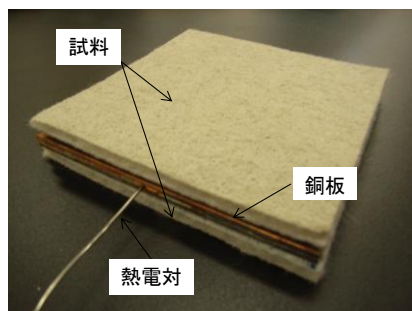


写真1 銅板を試料で挟んだ試験体の様子

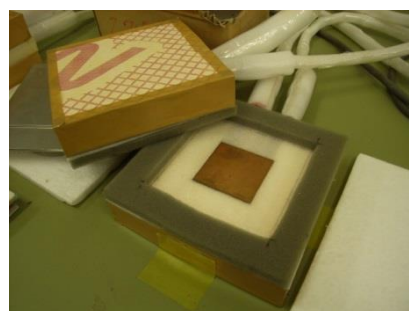


写真2 強制水冷装置の外観

3 実験結果と考察

3.1 測定試料の断面および密度

測定試料は熱伝導率が既知の試料4種類である。試料①と②は単層の試料であり、試料③と④は3層の積層構造となっている。試料①～④の断面構造について写真3に示す。試料③と④は、それぞれ黒もしくは茶色の薄い表皮層と綿状の繊維層、白色の厚い表皮層で構成されている。

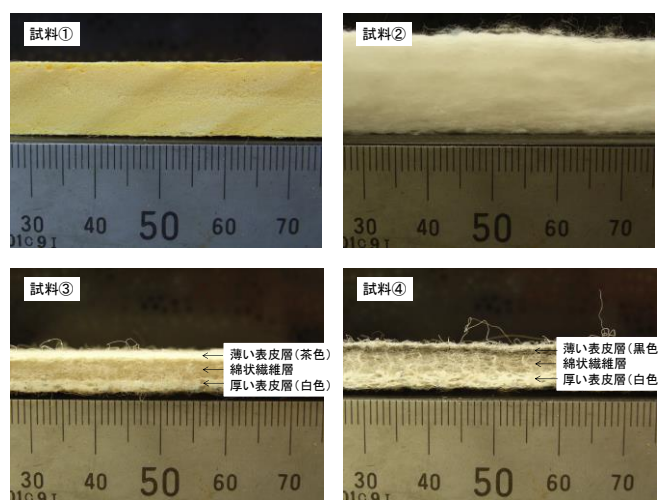


写真3 試料①～④の断面写真

測定した試料の密度を表1に示す。試料①、②に比べて試料③、④の密度は1桁大きいことがわかる。

表1 測定試料の密度

試料番号	密度(g/cm^3)
①	0.049
②	0.085
③	0.318
④	0.309

3.2 測定結果と考察

上記の熱伝導率が既知の4つ測定試料について強制水冷法にて熱伝導率の測定を行った。積層構造測定試料、試料③および試料④については白色の厚い表皮層を水冷銅板側に接触させた場合と、蓄熱銅板側に接触させた場合の2通りの方法で測定した。恒温槽の温度は80℃に設定し、試料の温度が十分80℃程度で均一になったことを確認して恒温槽から取り出し、0℃の水が循環する銅板で冷却した。このとき試料と水冷銅板との接触を一定に保つため、上から2.7kgの錘を押し当て接触圧力を一定にした。

蓄熱銅板の温度変化の測定例を図4に示す。試料の断熱性能の高低により銅板の温度の冷却曲線が異なっていることがわかる。第1報で報告した空冷による自然冷却法では試験体が十分冷めるまでに5～8時間必要であったが、今回蓄熱銅板の厚さを10mmから2mmに変更し、空冷から水冷銅板を挟み込んだ強制水冷に変えたことで測定時間は20分以下に短縮されている。

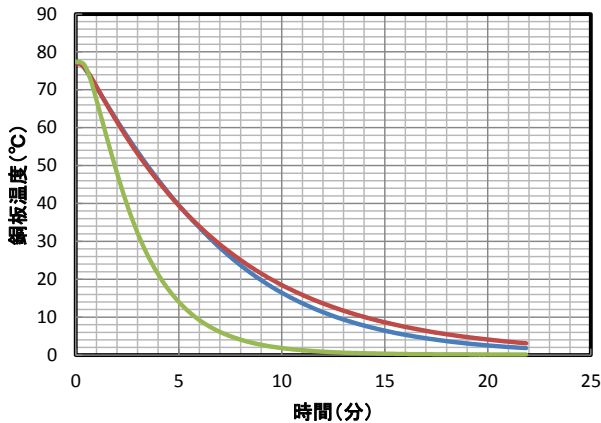


図4 測定時の銅板の温度変化の一例

これらの測定データ中から過渡現象の影響が大きいと思われる測定開始初期と0℃付近のデータは除外し、70℃から20℃までのデータを使用し、式(1)を用いて熱貫流率を算出した。この時、蓄熱銅板の単位重さあたりの比熱を0.385(J/g·K)、質量密度を8900(kg/m³)とした。

測定試料の熱物性を熱伝導率で示すため、試料厚さd(mm)を測定し、熱貫流率κから式(2)にて熱伝導率λを算出した。

本方法の測定結果と既知の熱伝導率を表2と図5に示す。縦軸は強制水冷法によって測定された熱伝導率で、横軸は既知の熱伝導率である。

表2 既知の熱伝導率と測定結果

試料番号	既知の熱伝導率 (W/mK)	水冷法による熱伝導率 (W/mK)
①	0.020	0.021
②	0.032	0.034
③-1(白色表皮水冷側)	0.053	0.042
③-2(白色表皮蓄熱側)	0.053	0.034
④-1(白色表皮水冷側)	0.050	0.037
④-2(白色表皮蓄熱側)	0.050	0.031

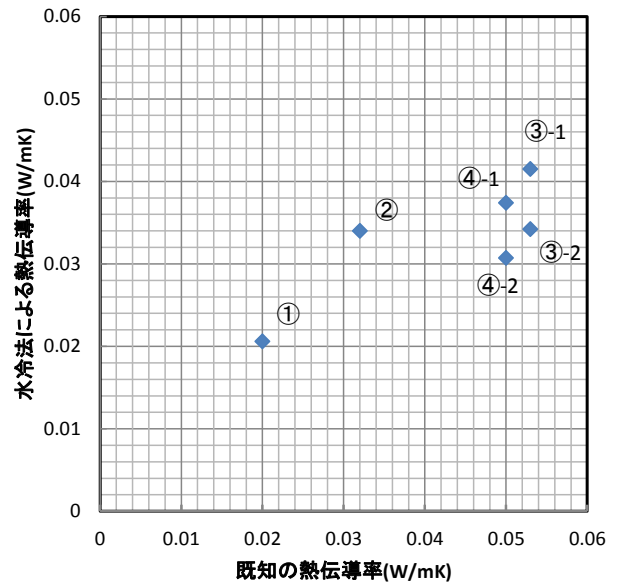


図5 既知の熱伝導率と測定結果の比較

試料①と試料②においては、強制水冷法で測定した熱伝導率は誤差10%以内の精度で既知の熱伝導率と一致した。一方、積層構造の試料③および試料④は、強制水冷法で測定した熱伝導率は既知の熱伝導率よりもおよそ21～38%低い数値を示した。また、白色の厚い表皮層を水冷銅板側に接触させたときの値は、蓄熱銅板側に接触させたときの値よりもおよそ16～19%高い数値を示した。

表1からわかるように、試料①、②に比べて試料③、④の密度は1桁大きい。一般に試料の密度が高いと熱容量も大きくなり、それにより試料内の熱の移動が遅れ、蓄熱銅板の放冷が遅れる。そのため試料③と④について水冷法の熱伝導率が既知の熱伝導率より低くなったと考えられる。また、同様に試料③と④の白色の厚い表皮層は他の層より密度が高いと考えられ、これらを蓄熱銅板側に配置したことにより、水冷銅板側に配置した値よりも低い熱伝導率を示したと考えられる。

4 結 言

非定常自然冷却法の装置について測定時間の短縮と測定精度を向上させるため、強制水冷方式に改良し、0℃の水冷とすることで新たに試料の断熱性能を評価した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 5～8時間必要であった自然冷却法に比べて測定時間を20分程度まで短縮させた。
- (2) 密度の低い試料では既知の熱伝導率の誤差10%以内の精度で熱伝導率を測定できた。
- (3) 密度の高い試料では既知の熱伝導率により低く評価する傾向があることがわかった。
- (4) 積層構造をもつ試料については密度の高い層を蓄熱銅板側に配置すると熱伝導率を低く評価することがわかった。

積層試料の配置方法による熱伝導率の推定値の差異は各層の熱容量の違いが要因であると考えられ、この冷却法では原理的に差異を無くすことは難しいと考えられる。一方で、この手法は熱伝導率だけでは表現できない試料の保温性能を示すものであり、自動車用部品の断熱性能を総合的に評価しているとも考えられる。今後は他の断熱性能の測定方法の測定結果と比較を行い、本測定方法がどのような試料に適しているのかを検討していく。

文 献

- 1) 羽原他：広島県西部工技研究報告, 59(2016), 17
- 2) 一色他：伝熱工学 森北出版株式会社(2014), 30