

ガラス球充てん層の熱伝導率測定

The Measurement of the Effective Thermal Conductivity of Packed Bed of Spherical Glass Particles

棚 沢 一 郎・永 田 真 一

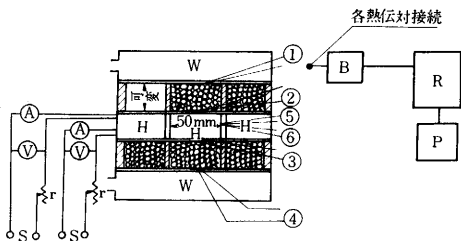
Ichiro TANASAWA and Shinichi NAGATA

1. はじめに

充てん層の熱伝導率とその測定値に関しては、多くの研究と報告があるが、まだ十分といえないようである。当研究室では、充てん層の熱伝導率を表わす式を求めするために実験を行なっている。本報ではガラス球での結果を報告するが、引続き鋼球でも実験を行なっている。本実験に使用したガラス球の大きさは、直径 0.58, 1.57, 2.04, 3.18 mm の 4 種類で、無色透明、十分球と見なせる形をしている。ガラス自身の熱伝導率は 0.83 kcal/mh°C で比重は 2.47 である。なお球径は 100 個を無作為に選んでそれらの平均を採った。充てん層の厚さは、10 mm から 30 mm まで 6 mm おきに 5 段階に変えて、充てん層の水槽面とヒータ面との温度差は 10°C から 60°C まで 10°C 間隔に 6 点を測定した。その結果から、ガラス球の見掛けの熱伝導率をその球径、充てん層厚さ、ならびに空隙率（充てん率）によって整理を行なった。

2. 実験理論と装置

ヒータの放熱量を Q kcal/h, 充てん層のヒータ面、水槽面の温度をそれぞれ、 t_h °C, t_w °C, 充てん層厚さを l m 熱流を直角に切った時の伝熱面積を A m² とすれば見掛けの熱伝導率 λ_e kcal/mh°C は、フーリエの式から $\lambda_e = Ql/A(t_h - t_w)$ で求められる。図 1 は実験装置の概略である。ヒータは



B ゼロ接点 W 水槽 R 記録器 H ヒータ
P ポテンシオメータ S スライダック r 動摺抵抗器

図 1 実験装置概略図

Ni-Cr 線を平板雲母に巻きつけ、それを石膏で固めて周囲を銅板で囲ってある。このヒータは、内部の測定用ヒータと、熱流束の横逸を防止するための保護環（ガードリング）とヒータから成り立っている。電源には電圧安定器を通る電流を用いた。そしてヒータの放熱量の調節

は回路の途中に置いたスライダックと摺動抵抗器（微調節用）によって行なう。ここでヒータ放熱量 Q は負荷電圧を V , 電流を I として $Q = 0.86 VI/2$ から算出する。温度測定には直径 0.1 mm の銅-コンスタンタン熱電対を用いた。熱電対の設置箇所は全部で 6 箇所、熱電対番号 5, 6 は内部ヒータと、保護環ヒータとの温度差を無くするための検出用である。ヒータ面や、水槽面のガラス層接触はシリコンゴムを介して行なっている。このシリコンゴムには、図 2 のように銅ハクがはりつけてあ

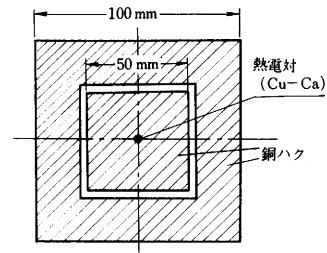


図 2 シリコンゴム面の熱電対

り、ゴムの面温度の均一化、熱電対固定の役目をしていて、その中央に熱電対が 1 点だけ設置してある。これは始めハク面の各点に熱電対を設置して実験を行なったところ、伝熱面たるこのハクに温度分布が一樣であって、中央と周辺部に温度差が認められなかったことから、ただ 1 点でもって十分であるからである。なお銅ハクの側が、ガラス層と接触する。充てん層の周囲は、熱伝導率が 0.12 kcal/mh°C のベニヤ板の壁で囲み、充てん層を保持している。冷却用の水槽流入水は季節によって 8~18°C と変化した。図 1 の R は打点式記録計で熱電対はこれに接続して、温度の監視と、記録が行なわれた。P はポテンシオメータで熱起電力の読み取りに使用した。

3. 実験結果および考察

実験結果を整理するにあたって、熱伝導率が対流、輻射の影響を値の中に含まないようにするために、測定温度差をグラフの横軸にとり、縦軸には熱伝導率 λ_e をとって、各測定値をプロットする。こうして得られたグラフ上の直線をさらに延長して縦軸と交わる点の値で λ_e を表わした。その値の平均温度は、当然水槽側温度が採られる。さて図 3 には充てん層の厚さ l と、熱伝導率 λ_e との関係が示されている。図 4 は球径 D_p と λ_e の関係

を图示したものである。図5は D_p/l と λ_e の関係を示し、図6は空隙率と D_p/l の関係を示す。

図3は λ_e が l に対して、直線的に分布しており、かなり平坦ではあるが幾分傾斜をもっているのがわかる。この λ_e が l と共に変わる理由は少なくとも二つ考えることができる。その理由とは、 l の増加につれて、熱流束の偏歪が起こり、熱の一部が、ベニヤ板の壁を伝わり横逸してしまう。そのために計算上の λ_e は増加するということと、図5、6から l が増加すれば空隙率が低下し充てん層の伝導性がよくなるという二つである。図4は D_p と λ_e の関係であるが、これは l の大なるものが λ_e の大なる値を取っており、また D_p が大きくなるにつれてバラつきが小さく収束している。前者については前段の理由を考慮すればこの原因も幾分説明される。図4のグラフの直線のこう配は $d\lambda_e/dD_p \approx 6.2 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ となっている。

図5、6から充てん率の低下すなわち空隙率の増加とともに λ_e が低下するのがわかる。さらに図5、6の直線のこう配は左に同じような傾斜を持っているが、図5で D_p が 2.04 のこう配は他と少々異なっている。そして図6においてその影響が明らかに見てとられる。すなわち空隙率が λ_e にかなり作用すると考えられる。

4. む す び

以上により次の結果を得た。

- (1) ガラス球径 D_p が 0.58 mm から 3.18 mm の範囲にわたり、ガラス球充てん層の見掛け熱伝導率が求められた。
- (2) 球径 D_p が大なるものほど λ_e は大である。
- (3) 充てん層厚さ l は λ_e にわずかの影響しか与えない。
- (4) 空隙率が小さければ λ_e は大きい。

以上で本報は終わるが、次は、空隙率の影響を明らかにして行きたい。しかし球であるために、その空隙率の変化は狭い範囲に限られている、そこで D_p の違ったもの同志をまぜた充てん層で ε を変え実験を行なう。また銅球等種々の球についても引続き実験を行なって行く。

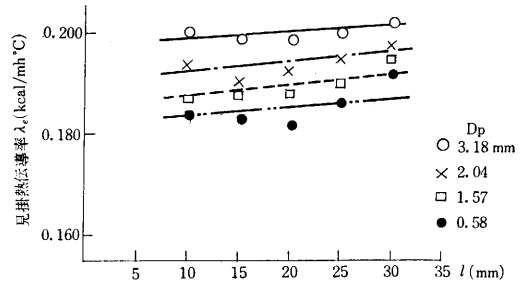


図3 充てん層厚さと見掛け熱伝導率の関係

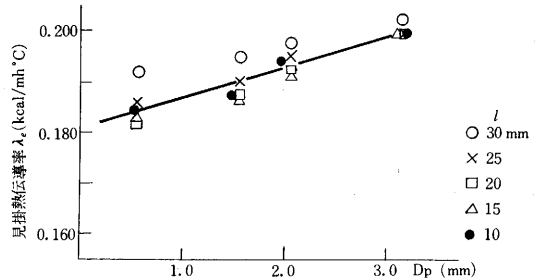


図4 球径による見掛け熱伝導率の関係

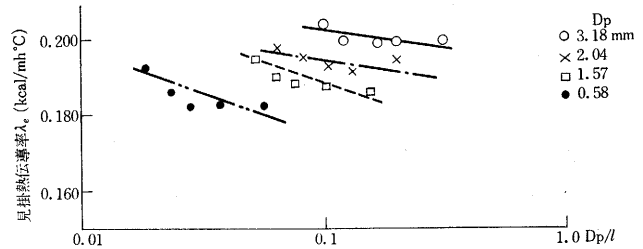


図5 D_p/l と見掛け熱伝導率 λ_e の関係

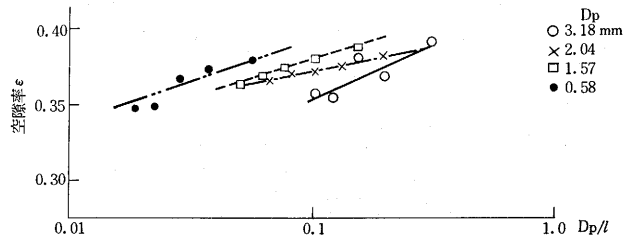


図6 D_p/l と充てん層空隙率 ε の関係

(1967年9月27日受理)

