



減少する。図3には往復台上に往復台と断熱して置かれた平板上に、切りくずが堆積した場合の平板変位である。同図は切削時間6分の変位であるが、切りくずの影響が大きいことが明らかである。特に工具台付近における影響は大きい。

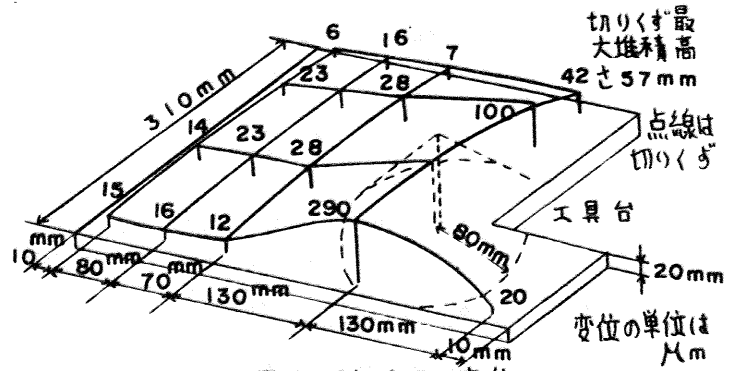


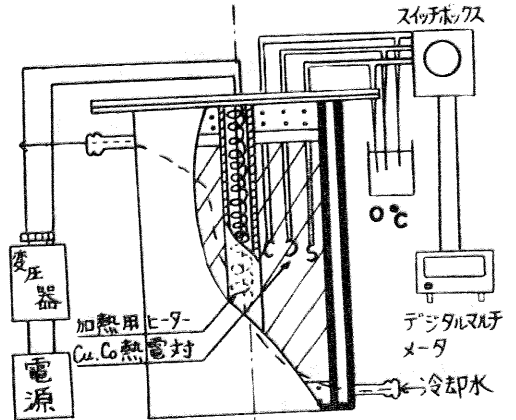
図3 平板上面の変位

### 3. 堆積切りくずの見かけの熱伝導率

堆積した切りくずの熱的性質を考えるに当り堆積した切りくず全体を一つの物体と考え、その物体が見かけの熱伝導率を持つと考えこれを測定した。一般に物質の熱伝導率を測定する方法には大別して定常熱流法と非定常熱流法があるが、定常熱流法によって測定した。図4に測定装置を示す。直径222mmの円筒形の容器の外周には下部から上部に向って冷却水を流すジャケットを取付けてある。容器の中心線上にヒーターがあり、上部及び下部は断熱してできるだけ切りくず内は無限長物体に近い温度分布が得られるようにした。温度測定点は円筒容器の長さ方向のほぼ中央部に、半径方向に3箇所、円周方向に3箇所の計9箇所とした。見かけの熱伝導率 $k_e$ は

$$k_e = \frac{Q}{2\pi l \Delta\theta} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

$Q$ : 熱源発熱量 (KCal/h)  $l$ : 熱源長さ (m)  
 $\Delta\theta$ : 半径距離  $r_1, r_2$  の温度差 (°C)  
 となる。図5に測定結果を示す。図中白丸は旋削切りくずで、黒丸はフライ



斜線部に測定切りくずを入れる。

図4 見かけの熱伝導率測定装置

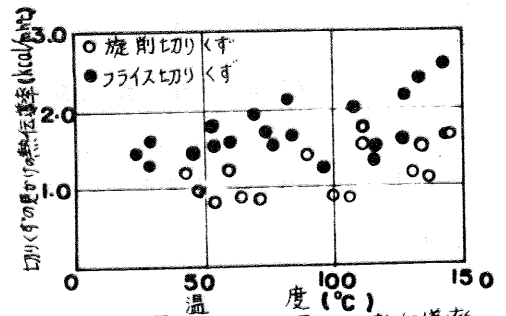


図5 切りくずの見かけの熱伝導率

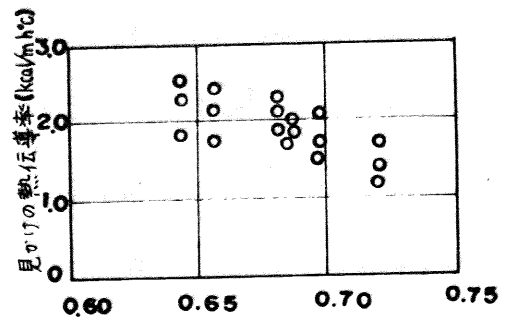


図6 空隙率と見かけの熱伝導率

ス切削切りくず (切込み 1 mm, 回転数 220 rpm, 送り 370 mm/min, 切削速度 70 m/min) の測定値である。横軸の温度は熱伝導率の計算に用いた 2 点の平均である。これによくと温度によくと見かけの熱伝導率はやや上昇の傾向を示している。切りくずの見かけの熱伝導率は空隙率 (空気の体積 ÷ 堆積切りくずの体積) と関連を持ち図 6 に示した。図から明らかのように, 空隙率が小さくなると見かけの熱伝導率は増大の傾向を示す。

#### 4. 平板温度分布及び堆積切りくず内温度分布の理論解析

堆積切りくず内温度分布の計算と平板の温度分布の計算は不可分である。切りくずの堆積形状はほぼ円錐形であることから円柱座標系を用いると便利である。従って, 平板を図 7 のように分割し差分法を用いて温度分布を求めた。切りくずの堆積は実験値をもとに図 8 のようにモデル化した。すなわち切りくずは切削開始後 12 秒まで (1) の状態, その後 (2) の状態に移り 12 秒毎に (3), (4) … と変化する。任意スロツフの温度  $T(i, j, k)$  は 6 方向からの熱の流入で  $\Delta t$  時間後に  $T_A(i, j, k)$  になるとすると次の関係式が導かれる。

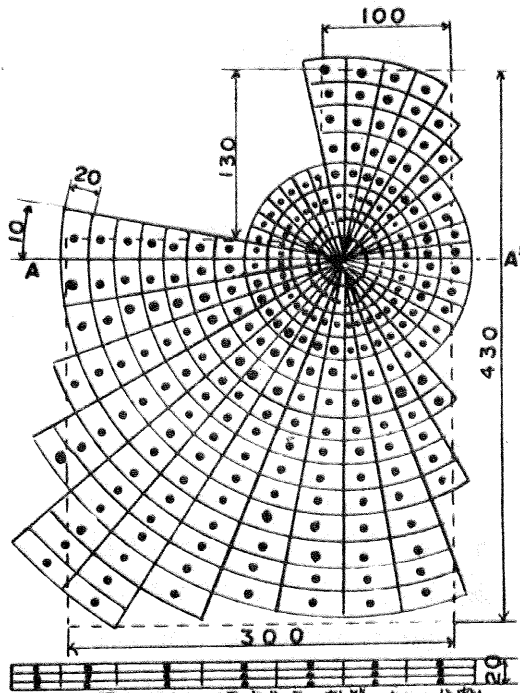


図7 平板内温度分布の計算のための分割

$$T_A(i, j, k) = \left\{ \frac{2\lambda i}{C\delta(2i-1)\Delta R^2} \cdot T(i+1, j, k) + \frac{2\lambda(i-1)}{C\delta(2i-1)\Delta R^2} \cdot T(i-1, j, k) + \frac{4\lambda}{C\delta(2i-1)^2\Delta R^2\Delta\varphi^2} \cdot T(i, j, k+1) + \frac{4\lambda}{C\delta(2i-1)^2\Delta R^2\Delta\varphi^2} \cdot T(i, j, k-1) + \frac{\lambda}{C\delta\Delta L^2} \cdot T(i, j+1, k) + \frac{\lambda}{C\delta\Delta L^2} \cdot T(i, j-1, k) \right\} \Delta t + \left[ 1 - \left\{ \frac{2\lambda i}{C\delta(2i-1)\Delta R^2} + \frac{2\lambda(i-1)}{C\delta(2i-1)\Delta R^2} + \frac{8\lambda}{C\delta(2i-1)^2\Delta R^2\Delta\varphi^2} + \frac{2\lambda}{C\delta\Delta L^2} \right\} \Delta t \right] \cdot T(i, j, k) \quad (2)$$

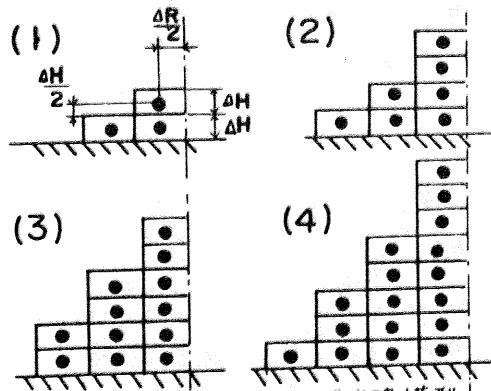


図8 理論解析における切りくず堆積モデル

$i, j, k$ : 半径方向, 厚さ方向, 円周方向分割数  $C$ : 比熱  $\delta$ : 比重  $\lambda$ : 熱伝導率

$\Delta R$ : 半径方向分割  $\Delta L$ : 厚さ方向分割  $\Delta\varphi$ : 円周方向分割  $\Delta t$ : 時間分割

ここで熱伝導率  $\lambda$  は堆積切りくずの時には切りくずの見かけの熱伝導率を用い, 平板の時には平板の熱伝導率を用いる。また平板と切りくずの境界面の時は 2 つの熱伝導

率の異なる物体が接触していると考えらる。

### 5. 計算結果

図9は平板温度の実験値と理論値である。①は切りくずの最も堆積する部分、②はやや堆積する部分、③は全く堆積しない部分の室温からの温度上昇値である。いずれも理論値の方が実験値より大きい。この理由としては図8のように切りくずの堆積をモデル化したため、空気中への熱伝達に関係する表面積が小さく見積られ、空気中に逃げる熱量は小さく、切りくず下部より平板に流入する熱量は大きく計算され理論値が大きくなると考えられる。図10及び図11は切削時間60秒と120秒の堆積切りくず内温度とその下の平板の温度である。この二つを比較すると堆積切りくず内においては上部の温度上昇が著しい。また平板内温度上昇は切りくず堆積領域内で著しくほぼ堆積中心に対称な温度分布を示している。

### 6. おおひ

以上の諸種の解析より切りくずの堆積による工作機械の熱変形は大きく、加工精度に及ぼす影響が大きい。また見かけの熱伝導率を測定することで堆積切りくず温度分布及び被堆積物温度が計算でき、堆積切りくず内では上部に温度上昇が著しいことが明らかになった。更に見かけの熱伝導率は空隙率が小さいほど大きく、同温度・同堆積形状ならば空隙率の小さな切りくずほど被堆積物の熱影響は大きい。この研究によって無人化加工における切りくずの工作機械への熱影響をコンピュータで求めることができる見通しがついた。

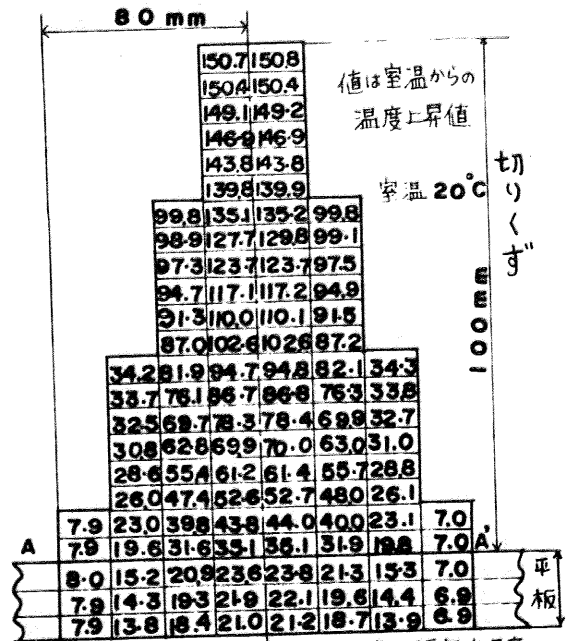
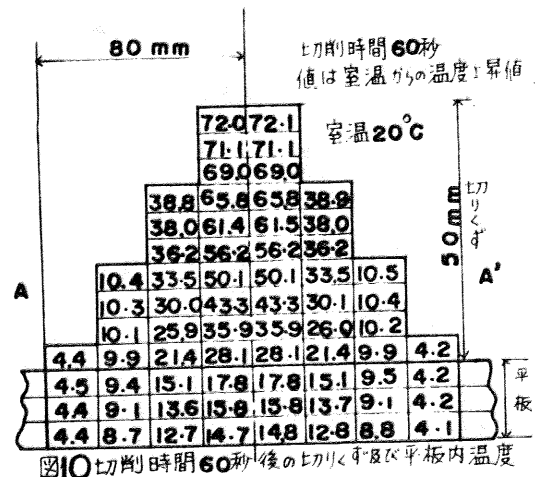
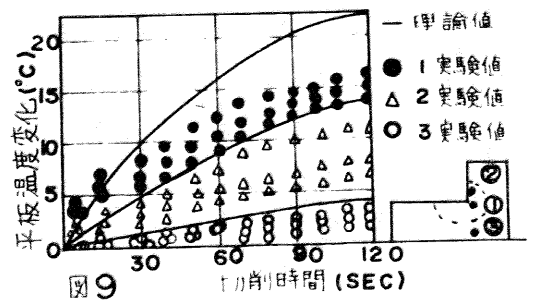


図11 切削時間120秒後の切りくず及び平板内温度