加工面アラサの解析 (その 1)

— アラサ曲線の解析 (第 5 報) —

中 村 常 郎*

The Analysis of Roughness of Worked Surfaces (Part 1)
—The Analysis of Surface Roughness Curves (5th Report)—

Tsuneo NAKAMURA

In this report and next report, the surface roughness curves of practically worked surfaces are analysed by the methods described in the previous reports.

The surfaces of test pieces are worked by grinding, lapping and lathing, which are the most usual methods of machining. The surfaces worked by the first two are discussed in the present paper. The auto-correlation curves of the surface roughness are measured, and the periodicities of the worked surfaces are examined by an application of the accidental lines.

5. 加工面アラサの解析 (その 1)

5.1 緒 言

本報及び次報では 実際の加工面のアラサを既述の方法で解析し、加工法とアラサの性質との関係をしらべる。然し加工機構の検討を目的としてはおらず、加工面の性質が前述の考え方でしらべうることを示すにすぎない。加工法としては最も一般的な研削、ラッピング及び旋削を考えてみる。

本報では前の 2 ついわゆる砥粒加工面を扱う。これは多数の切れ刃が同時に作用し、粗面を形成する物で自己相関曲線より処理される。またこのアラサ曲線に周期性があるか否かを偶発直線によつて検討し、ほぼ自己相関曲線に表われたと同程度の周期性を認めた。

5.2 ラッピング面について

自己相関曲線の測定法及びパワースペクトラムの計算法は第 1, 2 報でのべたが、ここでは先づラッピング面の 3 例について実際に自己相関曲線からパワースペクトラムを近似計算しよう。

初めの試料は鋼板 (記号 S) を 60# 及び 500# 研磨砂でラップした面と硝子板 (記号 G) を 500# 研磨砂でラップした面の 3 種である。夫々のアラサ曲線を図 5-1 に示す。このアラサ曲線から第 2 報でのべた光学的相関計により自己相関曲線を求め、この自己相関曲線 (の縦軸) を正規化せる物が図 5-2 の左側である。この図の右側は

.. (ラッピングのアラサ曲線)

図 5-1

正規化自己相関曲線を目分量で周期分とランダム成分に分離した物である。

この両成分は共に一次減衰と見なされ、第 1 報の式 (1-24) 前後でのべた如く周期成分 φ_{PP} 、ランダム成分 φ_{RR} は夫々次式で表わされる。

$$\begin{cases} \varphi_{PP}(\tau) = |C_P|^2 \cos w_P \tau \cdot e^{-\alpha \tau} & (5-1) \\ \varphi_{RR}(\tau) = |C_R|^2 e^{-\beta \tau} & (5-2) \end{cases}$$

ここで $|C_P|^2$ は周期成分のパワー (アラサ振巾の 2 乗比) の最大値であり、 $\varphi_{PP}(0)$ の値でもある。 $|C_R|^2$ はランダム成分のパワーの最大値であり、 $\varphi_{RR}(0)$ の値でもある。 α は周期成分の空間周波数 w_P からの拡がり (減衰)、 β はランダム成分の拡がりを表わす。

そこで図 5-2 の右側で、 $\tau = 0$ の縦軸から夫々 $|C_P|^2$ 及

* 北海道大学工学部 正会員

図 5-2

び C_R^2 を求め、周期分のピッチから中心室間周波数 w_P を求める。

また周期分の包絡線及びランダム分の曲線の減衰 $e^{-\alpha\tau}$, $e^{-\beta\tau}$ から対数座標を用いて α , β は求まる。この様にして求めた値を表 5-1 の左 5 行に示す。

表 5-1

	C_P^2	α	$w_P \left(\frac{1}{mm} \right)$	C_R^2	β	$\phi_{PP}(0)$	$\phi_{RR}(0)$
S 60#	22	3.8	19.4	78	8.7	58.0	90
S 500#	14	8.0	72.2	86	20.0	17.5	43
G 500#	12	6.4	58.4	88	18.7	18.8	47

また上式のフーリエ変換は式 (1-24), (1-25) であるが、これを式 (5-3), (5-4) とする。

$$\phi_{PP}(w) = \frac{C_P^2 \alpha}{\alpha^2 + (w_P - w)^2} \quad (5-3)$$

$$\phi_{RR}(w) = \frac{|C_R|^2 \beta}{\beta^2 + w^2} \quad (5-4)$$

上式に C_P^2 , $|C_R|^2$, α , β 及び w_P を代入して、 w に対するパワースペクトラム $\phi_{PP}(w)$, $\phi_{RR}(w)$ 曲線を求める。これを図 5-3 に示す。

表 5-1 の右 2 行は $w=0$ の各パワーの値を示す。

自己相関曲線の図 5-2 からわかるが、パワースペクトルの図 5-3 から周期成分は S 60# のラップ面が小さい w でピークを持ちパワーは大きい。ランダム成分は周期成分の相異がなく鋼板 500# の方がすそを引き、やや周波数領域の広い即ち多数の細かい周期分をもつこ

図 5-3

とを示している。500# 面について鋼と硝子では大きな差が無い。

次に硝子板を (記号 G) 60#, 120#, 220# 及び 500# 研磨砂であらした面について自己相関曲線を取り、これについて検討して見る。各試料面のアラサ曲線は図 5-4 に示す通りで、その自己相関曲線を図 5-5 に示す。縦軸の絶対値を問題とせぬ (パワーをとらぬ) 為正規化せず、相関記録その物を示した。こ

図 5-4

れをランダムと周期成分に分解し、 $\varphi(\tau_0) = 0$ の相関の巾 τ_0 と周期 T を測定し図の横に示した。

次に各研磨砂の粒径を規格表より求めたアラサ曲線図 5-4 より最大高さ $h_{\max}$ を求める。

図 5-6 は横軸に各粒径をとり、縦軸に τ_0 , T 及び $h_{\max}$ をとつた物である。これから $h_{\max}$ はほぼ粒径の $1/3$ 、ピッチ T

図 5-5

図 5-6

は粒径の 2 倍程度、相関の幅 τ_0 は大きくは変化しないが粒径と共に減少している。

以上ラップ加工面について 光学的にアラサの自己相関曲線を求め、それからパワースペクトラムを計算した訳であるが、相関曲線から周期分とランダム成分を分離する際の精度は低いので、周期成分の周期、振幅などの数値は誤差が大きいと考えざるを得ない。

5.3 研削加工面について

研削加工面について、砥石のドレッシング、粒度、結合度更に送り等の変化が相関曲線にどの様に表われるかをしらべて見る。

加工機は精密油圧式平面研削盤(岡本製)、砥石の大きさは $8'' \times 3/4'' \times 2''$ 、砥石は WA 24 #J, WA 46 #H 及び WA 80 #K の 3 種で、試料は鋼材である。

先づドレッシングの影響を見る為に 46 #H 砥石を、故意に粗く約 270μ の送りでドレスしたものや粗く 100μ の送りでドレスしたものを、この 2 種について研削盤の送りを約 1, 0.5 及び 0.1 mm の 3 種で加工した。この加工面のアラサ曲線を図 5-7 に相関曲線を図 5-8 に

図 5-7

図 5-8

示す。

アラサ曲線の測定倍率は縦×3000、横×50で、砥石のドレッシングと研削送りの概略値は図に示してある。図5-8の相関曲線は、図5-7に示した試料46#Hの(1)~(5)についてそれ自身の自己相関が(a)~(e)、試料(4)と(5)の相互相関が(f)であり、いずれも記録曲線そのままを示している。

図5-8の自己相関曲線(a)、(b)及び(c)からは粗いドレスの約270 μ の周期、図(d)、(e)からはやや粗いドレスの約100 μ のピッチが認められる。この図から送りの差は認め難い。また図(f)はドレス100 μ の送り1mmと0.1mmの相互相関曲線であるが、100 μ (ドレスの影響)とその1/3程度の周期が認められる。

次に24#J砥石の研削加工面で送りの影響を考えて見る。図5-9はこの加工面をダイヤモンド触針(触針半径約5 μ)で走査した粗さ曲線で、図5-10はこのアラサ曲

図 5-9

図 5-10

線の自己相関曲線である。送り0.2mmと1mmの差は認められる。然し周期の大きさは送りの約 $1/5 \sim 1/6$ ($T=44, 166\mu$)程度で表われている。これは切削加工の如き送りマークが単純に表われないで、ドレッシングと送りの影響が重なり合つて表われたと考えられる。

送りを無理に大きく(例えば1mm等)した場合、測定距離を充分とればこの送りの影響も認められる。

普通の範囲内での研削条件の差(前記研削盤を使用して)は相関曲線に大きくは表われず、また粒度差、結合

度差の影響もWA80#K砥石の結果を含めてもここでは認められなかった。

5.4 砥粒加工面の周期性

単一刃先による加工例えば切削加工ではアラサ曲線に周期性があるのは当然であるが、砥粒加工特にラッピング加工ではアラサ曲線に周期性があるか否か明かでない。筆者の扱った砥粒加工では研削、アプレシブベルトのみならずラッピング加工にもアラサの自己相関曲線の中に周期性が認められる。

この自己相関曲線に周期性があれば、元のアラサ曲線に周期性があることは予想されるが、疑似周期のまじる心配もある。第2報にのべた様に光学的相関計は理論的には無限大なる可き試料長2Lが必ずしも大きくない。試料長が短い場合外部から周期が混入する憂があるが、この点は§2-1(c)で検討した結果試料長は充分であろう。然しここでは別な方面からこの周期性の有無を検討して見る。

(a) 偶発性直線

地震の生起等が偶発か周期性を持つかについては古くから研究されている。これらの数学的取扱い⁽²³⁾⁽²⁴⁾の偶発函数 $u(x)$ によつてアラサ曲線に周期性があるか否かを検討して見る。

アラサ曲線の一つの凹凸の山に注目し、その(最後の)山(頂)から x 離れた dx 間に次の山(頂)が表われる確率を $u(x)dx$ とおく。

考える範囲の凹凸の山と山との間隔の総数を N とする。山の間隔が x から $x+dx$ までの数を $Nq(x)dx$ とおく。山の間隔が x 以上の数を $Np(x)$ とおく。

然るとき

$$p(x) = \int_x^{\infty} q(x) dx$$

x 迄山が表われぬ状態が続いている Np の中、 $Nqdx = -Nd p$ だけは dx 間に山が表われる。従つて x 迄山が表われずに続いたことが解つている時、その後の dx に山が表われる為の確率 $u dx$ は次の如くおきる。

$$u(x)dx = -\frac{dp}{p} = -d \log p \quad (5-5)$$

また間隔の平均長さを T_m とすると、

$$T_m = \int_0^{\infty} x q(x) dx$$

さて山の表われ方が周期性でなく偶発性である場合には u は x に無関係である。

23) 福島浩：岩波科学文献抄，15(昭12)

24) 渡辺慧：理研彙報，15(1936)1083.

即ち偶発の場合には次の如くおくこともできる。

$$u(x) = m \text{ (常数)} \quad (5-6)$$

式 (5-5) より

$$-d \log p = m dx$$

$$\therefore p = e^{-mx} \quad (5-7)$$

従つて $q = me^{-mx}$

$$\text{また } T_m = \frac{1}{m} \quad (5-8)$$

実際の数値から p 曲線を求め更に m を求めるには、各間隔に対応する山の数 $Nqdx$ 及び N を数えこれから q 更に p を求める。

$q(x)$ 曲線から m を求め、また $u(x)$ の確率函数をえがき周期性の検討を行うことができる。

(b) 砥粒加工面の周期性の検討

ここでは実例として軟鋼 S を 60# 及び 500# 砥粒でまた硝子 G を 120# 及び 500# 砥粒でラッピングした面と、黄銅を 100# 砥粒、軟鋼を 120# と 220# 砥粒のアブレンザルトで加工した面とをしらべて見る。

$p(x)$ 曲線、確率曲線 $u(x)$ を求めるには、周波数(周期)の範囲と各周期の個数が相当必要である。それはアラサの山のピッチが大きい物や小さい物に片寄つては困るし、測定間隔 dx も記録曲線上 1~2 mm が最小でありアラサ記録曲線の縦横倍率をその目的に合う様選ばねばならない。これは必ずしも他の目的と合致しないで、図 5-9 に示した研削加工面(細かすぎ)図 5-4 に示した硝子 60# ラッピング面(あらずぎ)のアラサ曲線等は上の様な計算に不適当である。

(i) 軟鋼ラッピング面 (60#, 500# 砥粒)

両者のアラサ記録曲線及びこれを2段階に巨視的に見

たアラサ曲線の一部を図 5-11 に示す。縦横の倍率は×

ラッピング面アラサ曲線

図 5-11

の曲線をえがきその包絡線から $Nqdx$ が定まる。実際には手数を省いて各間隔の最大箇数を $Nqdx$ とする。

なおアラサ曲線を巨視的に見る場合無視する細かい山の数値、間隔を見当で撰んだのであるが包絡線から $Nqdx$ をチェックしたので間違いは少ないと考える。

S 60# についても同様の操作を行う。

図 5-11 から各間隔(アラサ曲線上 $dx=2\text{mm}$) に対する $Nqdx$, $\sum Nqdx$ を求め、これより q , p , $\log p$ 等を計算した物を表 5-2 に示す。

表 5-2

dx mm	S 60#						S 500#					
	$Nqdx$	q	p	$\log_e p$	$d \log p$	$\frac{d \log p}{dx}$	$Nqdx$	q	p	$\log_e p$	$d \log p$	$\frac{d \log p}{dx}$
0~2	36	0.327	1.000	0	0.38	0.19	191	0.702	1.000	0	1.21	0.61
2~4	35	.318	0.671	-0.38	.66	0.33	55	.202	0.298	-1.21	1.13	0.57
4~6	20	.182	.353	-1.04	.72	.36	9	.033	.096	-2.34	0.43	0.22
6~8	4	.036	.171	-1.76	.10	.05	4	.015	.063	-2.77	0.27	0.14
8~10	3	.027	.135	-1.86	.36	.18	6	.022	.048	-3.04	0.61	0.31
10~12	3	"	.108	-2.22	.29	.15	4	.015	.026	-3.65	0.85	0.43
12~14	3	"	.081	-2.51	.41	.21	2	.007	.011	-4.50	1.02	0.51
14~16	1	.009	.054	-2.92	.18	.09	1	.004	.004	-5.52		
16~18	3	.027	.045	-3.10	.91	.46						
18~20	1	.009	.018	-4.01	.69	.35						
20~22	1	.009	.009	-4.70								
$\sum Nqdx$	110						272

図 5-12

表 5-2 の $\log_e p$ 及び $u(x) = -d \log p / dx$ を図 5-12 に示す。式 (5-7) より $\log_e p = -mx$

従つて $\log_e p(x)$ 曲線より m が定まる。また $u(x)$ 曲線に式 (5-6) の $u(x)=m$ なる偶発直線を示すが、この直線よりはずれた位置 (x) が周期性を示すことになる。なおアラサ曲線の横倍率は $\times 50$ であるから、 $xm/50$ が試料上の長さとなる。

図 5-12 の S60#、S500# 面の $u(x)$ 曲線は偶発性を示すと考えるより、夫々 300μ 、 100μ の附近に周期性があると考えた方が妥当であろう。

また m は夫々 0.24、0.4 であり、従つて間隔の平均長さ T_m は 84μ 、 50μ となる。

(ii) 硝子ラッピング面 (120#、500# 砥粒)

これらのアラサ曲線は既に図 5-4 に示したがその $\log_e p(x)$ 、 $u(x)$ 曲線を図 5-13 に示す。

図 5-13

$\log p(x)$ 曲線から 120#、500# 面が夫々 m は 0.43、0.53 従つて夫々 T_m は 46μ 、 38μ となる。

$u(x)$ 曲線から 120# 面は 120μ 辺に周期が見られるが 500# 面は周波数範囲が少く資料不足でなんと云えない。

(iii) アブレジブベルト加工面

黄銅の 100# 砥粒、軟鋼の 120#、220# 砥粒のアブレジブベルト加工面のアラサ曲線及び自己相関曲線は既に図 2-3 に示したがその $\log p(x)$ 、 $u(x)$ 曲線を図 5-14 に示す。

$\log p(x)$ 曲線より夫々の m は 0.39、0.42 及び 0.47 と求められ、従つて T_m は夫々 50 、 48 及び 43μ となる。

$u(x)$ 曲線からはいずれも偶発性のみとも見られるが特に 120# 面に周期性が認められず、100#、220# 面には夫々 120μ 、 80μ 辺に周期がやや認められる。

以上の結果と前述の自己相関曲線より求めた周期成分との関係を総合的に考えて見よう。

図 5-14

軟鋼 120# アブレジブベルト加工面以外 (500# G を除き) は大体偶発直線よりの偏倚から周期成分のあることが認められる。

図 5-15 横軸に自己相関曲線よりの周期 (T) を、縦軸に $u(x)$ より求めた周期 (T') と平均間隔 (T_m) を示す。

図 5-15

両者の周期成分の周期はほぼ近い値をとり、これらのアラサには周期性があると考えるのが至当であろう。

平均間隔 T_m は図から大体周期の $1/3$ 程度の値を示

している。

結 論

本報では加工面のアラサ曲線の相関曲線による解析結果を考察した。加工法としてラッピング、研削を主なる対称とした。ラッピング加工面から周期成分が認められ

その周期は他の測定値と妥当な関係にあり、また研削加工面にも周期性が認められるが普通の範囲の加工条件では自己相関曲線との関連が認められなかつた。また偶発直線により砥粒加工面を検討したが、ほぼ自己相関曲線より得たと同様な周期分を認めた。

(1959, 8月26日 受付)

—表紙写真説明—

真 空 焼 結 炉

本機は高真空焼結用に設計した装置で最高 2,200°C の高温が得られる。

用途は Ta. コンデンサー用シンターボディの焼結酸化ウランの水素雰囲気中に於ける焼結, その他サーメット, Ta. Mo. Nb 等レアメタル焼結用として使用される。

仕 様

排 気 系	4 吋油拡散ポンプ	2 台
	500l/min 油廻転ポンプ	1 台
真 空 度	容積, 吋 1×10^{-5} mmHg	
炉 内 積	60φ × 180H	

反 射 板	数層
炉 内 温 度	2000°C ~ 2200°C
炉内雰囲気	調節可能
電 源	P 200V 12KVA

特 長

炉内に耐火物を全然用いないので非常に真空度が良く又熱容量が少ないので昇温時間が短く, 炉内熱分布が非常に均一である。

又温度調節が行い易い。

営 業 品 目

回転型真空ポンプ	油 拡 散 ポンプ	油ブースタポンプ
真 空 計	高 真 空 パルプ	高真空排気セット
真 空 乾 燥 装 置	各 種 真 空 装 置	真 空 炉

東 京 真 空 機 械 株 式 会 社

本 社	東京都大田区矢口町 819	電 (738) 1156~8
大 阪 出 張 所	大阪市西区立売堀南通 5	(泰平産業KK内)
名 古 屋 代 理 店	名古屋市東区東袋町 2 の 2	(株) 小沢製作所
九 州 代 理 店	福岡市万行寺前町 38	東洋炉紙福岡出張所