音波の伝播モデルによる超砥粒ホイールの弾性係数の導出に関する研究 (第2報)*

—有気孔砥石の弾性係数の近似式—

幾瀬 康 史**

海野 邦 昭**

Study on Deducing Elastic Modulus of Super Abrasive Grinding Wheel Using Acoustic Model (2nd Report)
-Approximate Equation of Elastic Modulus on Bridge Type Grinding Stones -

Yasushi IKUSE and Kuniaki UNNO

This paper describes the approximate equation on elastic modulus of bridge type grinding stones. This equation is deduced from the acoustic model based on the propagation of the elastic wave on condition that grains and bond bridges in the grinding stone have sufficiently adhered. The elastic modulus measured by ultrasonic pulse method is compared with the calculation from this approximation in order to confirm the accuracy of the approximation. As a result, it is confirmed that the measured elastic modulus is a bit lower than the calculated one, and the both qualitative tendencies agree well with each other. As the elastic modulus calculated by this equation at pore ratio of 0% agrees well with the approximation of the matrix type grinding stones shown in the first report, the approximate equation can be applied to elastic modulus not only of bridge type but also of the matrix type grinding stones.

Key words : elastic modulus, super abrasive grinding wheel, bridge type grinding stone, acoustic model, elastic wave

1. はじめに

超砥粒ホイールの砥粒層の弾性係数は、ホイールの選定や研削作業の条件を設定する上で、重要な機械的性質であると考えられている。しかし、その砥粒層は薄く、超砥粒ホイールに一般砥石の弾性係数の測定法を適用することが困難である。また、その砥粒層の組成から弾性係数が予測できれば、砥石の設計や最適な作業条件の推定に有益である。そこで、前報¹⁾では、無気孔のマトリックスタイプのダイヤモンドホイールに関して、音波の伝播モデルを用いて、弾性係数の近似式を提案した。しかし、砥粒層内に気孔を含む場合やコーティング砥粒を用いた超砥粒ホイールに関しては、提案した近似式を適用することはできない。

そこで、本報では、超砥粒ホイールの砥粒層および砥石（以下両者を総称して砥石と呼ぶ）に関して、音波の伝播モデルを用いて、気孔を考慮した弾性係数の近似式の導出を試みる。

2. 原 理

砥石の弾性係数を音波の伝播時間から求めようとすると、砥石の単位幅あたりの縦波と横波の伝播時間および砥石の密度が明らかであれば、次式から求まる。

$$E_H = \rho_H / (K_H \cdot t_v^2) \quad (1)$$

$$K_H = (1 - \nu_H) / \{ (1 + \nu_H) (1 - 2\nu_H) \} \quad (2)$$

$$\nu_H = \{ (t_v/t_h)^2 - 2 \} / [2 \{ (t_v/t_h)^2 - 1 \}] \quad (3)$$

ここで、 E_H は砥石の弾性係数、 ρ_H は砥石の密度、 t_v は縦波の伝播時間、 t_h は横波の伝播時間、 ν_H は、砥石のポアソン比を示す。

前報¹⁾では、無気孔の砥石に関して、その構造をモデル化することにより、砥石内の音波の伝播経路を特定し、縦波および横波の伝播時間を算出した。そして式(1)から弾性係数の近似式を導出している。その結果として、無気孔砥石の縦波伝播時間を t_v と

して、次式を提案した。

$$t_v = L_v/C_v + L_g/C_g \quad (4)$$

$$L_g = (1 - 1.4V_g) \quad L_g = 1.45V_g \quad (5)$$

ただし、 C_v は、砥粒の縦波の伝播速度、 C_g は結合剤の縦波の伝播速度を示す。なお、 L_v および L_g は、砥石単位幅の砥粒内および結合剤内の伝播距離に相当する。また、横波の伝播距離も縦波の場合と等しいものと仮定して、同様に横波の伝播時間を求めている。同様に有気孔砥石の場合にも、砥粒および結合剤内の伝播経路を特定し、各要素の伝播距離を推定し、式(4)から縦波および横波の伝播時間を求めれば、式(1)、式(2)および式(3)から砥石の弾性係数の近似式を導出することが可能である。

2.1 有気孔砥石のモデル化

有気孔砥石の伝播経路を推定するため、砥石の構造を図1のようにモデル化した。このモデルの場合の条件として、①砥粒と結合剤は、砥石内部に均一に分散し、異方性を生じないものとする。②砥粒と結合剤は、十分に密着しているものとする。また、各砥粒は、平均砥粒径 d_g を直径とする球形と仮定する。そして結合剤内部には、気泡が含まれないものとする。次に、伝播の条件として、縦波入射の場合、砥石内部での反射波および横波へのモード変化の影響を考慮せず、縦波のみが伝播するものと仮定して、伝播時間を求めることとする。また、横波入射の場合も同様に横波のみの伝播とする。次に、有気孔砥石の伝播距離を求めるために音波上の任意の点を仮定し、図1の砥石モデルの内部を透過した時の伝播経路のモデルを図2に示す。図中の ϕ は、音波を巨

Fig. 1 Bridge type grinding stone model

* 原稿受付 平成11年11月25日

** 正 会 員 職業能力開発総合大学校 (相模原市橋本台4-1-1)

Fig.2 Propagation model of elastic wave in grinding stone

Fig.3 Model of Grinding stone to calculate the distance between grains

Fig.4 Model of grain distribution around a grain

視的に見た場合の伝播方向となす角を示す。また、砥粒間隔を S としている。 ψ と S の値が特定できれば、砥石内の伝播距離が推定できるので、砥石の組成と ψ および S の関係について検討する。

ここで、 ψ および S は音波の伝播に伴って刻々と変化するもので、 ψ に対応した平均的な角度を等価角度 ψ_e とし、 S の平均値を平均伝播砥粒間隔 S_e と置くことにする。そして砥石単位幅あたりの S の合計の長さを S_H とし、 ψ_e を次のように定義する。

$$\cos \psi_e = 1/S_H \quad (6)$$

また、図1の砥石モデルの内部に長さ1の直線を任意の方向に引き、その直線と交わる砥粒の抽出モデルを図3に示す。この長さ1の直線と交わる砥粒数を n_g とする。 n_g は、平均砥粒径 d_g を直径とする長さ1の円筒内に存在する砥粒数に相当するので、

$$n_g = (\pi \cdot d_g^2/4) \cdot N_g = 1.5V_g/d_g \quad (7)$$

となる。ただし、 N_g は、単位体積当たりの砥粒数を示し、 $N_g = V_g/(\pi d_g^3/6)$ で与えられる。また、 V_g は砥粒率を示す。そして、同図に示す砥粒の中心間隔 S の平均値を平均砥粒間隔 S_e と呼ぶことにする。 S_e は、砥粒中心間隔の合計値を S_{H0} とし、同様に $1/S_{H0} = \cos \psi_{e0}$ と定義すると、次式となる。

$$S_{e0} = S_{H0}/n_g = S_{H0} \cdot \{d_g/(1.5V_g)\} = \{1/n_g\}/\cos \psi_{e0} \quad (8)$$

2.2. 平均結合砥粒数

平均結合砥粒数 n は、砥石内の任意砥粒1個に結合橋で結ばれる平均砥粒数を示すことにする。はじめに図4のように基準砥粒の近傍で結合可能な砥粒数 n_0 を求めることにする。なお、 n_0 は、無気孔率の場合の n に相当する。ここで、基準砥粒の中心 O_g から任意方向で直線を引いて、直線と交わる砥粒に順番をつけ、最初に交わる砥粒を1番目の砥粒と呼ぶことにする。基準砥粒の近傍の砥粒位置はランダムであるので、基準砥粒と1番目の砥粒との間隔の分布は、図3のモデルの砥粒間隔の分布と等しくなると考えられる。図3においてZ方向の砥粒間隔の分布は、長さ1の区間で砥粒が相互に干渉しないように考慮し、 n_g 個の砥粒をランダムに配置したときの間隔の確率分布に相当する。したが

Fig.5 Probability density function of grain distance

Fig.6 First grain ratio in spherical surface of radius $1/n_g$

って、砥粒間隔の確率密度関数を $f_i(Z)$ とすると、 $f_i(Z)$ は、次のような指数関数に近似できる²⁾。

$$Z \geq d_g \text{ の範囲 } f_i(Z) = (1/\lambda) e^{-(Z-d_g)/\lambda} \quad (9)$$

$$Z \leq d_g \text{ の範囲 } f_i(Z) = 0$$

$$\text{ただし、} \lambda = (1/n_g) - d_g \{1/(1.5V_g) - 1\}$$

そして、 $f_i(Z)$ の平均値は $1/n_g$ となり、平均値より小さい間隔の砥粒数の割合は約63.2%になる。そこで、Z軸方向の砥粒間隔が平均値 $1/n_g$ より小さくなる砥粒数が推定できれば、 n_0 を算出できることから、砥粒間隔が平均値より小さくなる砥粒数の推定を行う。基準砥粒から k 番目に交わるZ軸方向の砥粒位置の確率密度関数 $f_k(Z)$ は、式(9)を用いて、確率密度関数の和の定理より求めると、次式のようにアーラン分布となる³⁾。

$$Z \geq k \cdot d_g \text{ の範囲 } f_k(Z) =$$

$$\frac{(Z - k \cdot d_g)^{k-1}}{\lambda^k (k-1)!} e^{-(Z - k \cdot d_g)/\lambda} \quad (10)$$

$$Z \leq k \cdot d_g \text{ の範囲 } f_k(Z) = 0$$

図5に V_g が25%の場合のZ軸方向の砥粒間隔の分布例を示す。

一方、図4のように基準砥粒の中心を O_g とし、平均砥粒間隔 S_{e0} を半径とした球面内に含まれる砥粒は、第1番目に交わる砥粒だけでなく2番目以降に交わる砥粒も含むことになる。そこで、その砥粒の内訳を式(10)を用いて調べ、第1番目の砥粒の含まれる割合 V_1 を推定する。図3のモデルで見ると、平均砥粒間隔 S_{e0} に対応するZ軸方向の砥粒間隔の平均値 $1/n_g$ に対応することから、 k 番目の砥粒がこの球面内に含む確率 P_k は、式(10)において $0 \leq Z \leq 1/n_g$ に含まれる確率に相当する。つまり、

$$P_k = \int_0^{1/n_g} f_k(Z) dZ \quad (11)$$

で示される。したがって、第1番目の砥粒の含まれる割合 V_1 は

$$V_1 = P_1 / (P_1 + P_2 + \dots + P_k) \quad (12)$$

で求まる。図6に V_1 の計算結果を示す。図から V_1 を1次式で近似すると次式となる。

$$V_1 = 1.11V_g + 0.632, \quad 0 \leq V_g \leq 0.333 \quad (13)$$

$$V_1 = 1, \quad 0.333 \leq V_g \leq 0.65$$

したがって、平均砥粒間隔 S_{e0} を半径とする球面内に含まれる砥粒数 n_0 は、 $(4/3)\pi(S_{e0})^3 \cdot V_g / (\pi d_g^3/6)$ で求まるので、結合可能な砥粒数 n_0 は次式となる。

$$n_0 = V_1 \cdot n_g / (0.632 - 1) = 3.75 \cdot V_1 / \{V_g^2 \cdot (\cos \psi_{e0})^3\} - 1 \quad (14)$$

次に、気孔率を考慮して、砥粒1個の平均結合砥粒数 n を求

Fig.7 Probability model of the equivalent angle ϕ

めることにする。なお、ここでの気孔率 P は、気孔を含めた見かけ上の砥石の体積から砥粒の体積を除いた体積に対する気孔の体積の割合を示すことにする。つまり、 $P=V_p/(1-V_g)$ で求められることになる。 V_g は、気孔の体積率を示す。まず、図4で基準砥粒の近傍において、 O_g を中心とした砥粒径よりわずかに大きい球面を2つ考える。その半径を r と $r+\Delta r$ とする。この場合、この球面内に基準砥粒以外は含まないものとする。また、これらの球面で挟まれる体積中に含まれる結合剤の量は、巨視的な場合と同様に $(1-P) \cdot \Delta r \cdot (4\pi r^2)$ で与えられるものとする。このとき、 Δr を十分に小さくすれば、球面 S 内の結合剤の面積は $(1-P) \cdot (4\pi r^2)$ で与えられる。ゆえに、砥粒の中心 O_g から任意方向に結合剤が存在する確率は $1-P$ となる。ここで、結合剤が結合橋にすべて関与すると仮定すると、近傍の砥粒と結合橋で結ばれている確率 P_g は、ほぼ $1-P$ に等しくなると考えられる。しかし、実際には結合剤一部は、結合橋として働かないので、次の様に基準砥粒の近傍の砥粒と結合橋で結ばれている確率 P_g を

$$P_g=C(1-P) \quad (15)$$

と置くことにする。 C は、結合剤が結合橋として有効に働く割合に相当する定数とする（以下、 C を結合剤有効率と呼ぶことにする）。したがって、砥粒1個の平均的な結合砥粒数 n を式(14)から求めると、次式となる。ただし、 V_g は砥粒率を示す。

$$n=n_g \cdot P_g=n_g \cdot C(1-P)=n_g \cdot C \cdot V_g/(1-V_g) \quad (16)$$

2.3 等価角度

音波の伝播時間 t は、到達する最短時間つまり最短経路を取ると考えられるので、仮に伝播経路上の1個の砥粒から n 個の砥粒が結合橋で結ばれているとすると、伝播経路は、その n 個の砥粒の内、図2に示す角 ϕ が最も小さくなる方向と見なされる。したがって、等価角度 ϕ_e は、式(6)の定義から伝播経路上の各砥粒の最小 $\cos \phi$ の平均値から求まる。また、音波の減衰等を考慮すると、伝播の方向の範囲は、 $0 \leq \phi \leq 90^\circ$ とするのが妥当と考えられるので、伝播に関与する結合砥粒数は、 $n/2$ として考えることにする。ここで、範囲 $0 \leq \phi \leq 90^\circ$ で1個の砥粒に m 個の砥粒がランダムに結合しているとする。ただし、 m は最小を1個とする。この場合、図7に示すように半径1の半球面上にランダム点を m 個取った場合に等価として考えることにする。まず、1個目の砥粒が範囲 $0 \leq \phi \leq \phi$ に存在する確率 P_ϕ は、半球の表面積に対するこの範囲の表面積比、つまり $A_1/(A_1+A_2)$ に相当することから、

$$P_\phi=1-\cos \phi, \quad 0 \leq \phi \leq \pi/2 \quad (17)$$

で示される。

次に ϕ が最小となるためには、残りの $m-1$ 点が ϕ より大きくなければならない。したがって、 ϕ の最小となる確率 $P_{min}(\phi)$ は、

$$P_{min}(\phi)=(\cos \phi)^{m-1} \quad (18)$$

で示される。次に、この分布関数を $F_\phi(\phi)$ とすると、範囲 $0 \leq \phi \leq \pi/2$ で

$$F_\phi(\phi)=m \int_0^\phi P_{min}(\phi) \sin \phi d\phi=1-\cos \phi^m \quad (19)$$

Fig.8 Average grain distance and equivalent angle

で示される。よって、 ϕ の確率密度関数 $f_\phi(\phi)$ は、

$$f_\phi(\phi)=m \cdot (\cos \phi)^{m-1} \cdot \sin \phi, \quad 0 \leq \phi \leq \pi/2 \quad (20)$$

となる。この確率密度関数から等価角度 $\cos \phi_e$ を求めると、

$$\cos \phi_e = m \int_0^{\pi/2} \cos \phi \cdot f_\phi(\phi) d\phi = \frac{m}{m+1} = \frac{n}{n+2} \quad (21)$$

となる。ところで、気孔率0%の場合において、 $n_g=n$ なので、式(21)に式(14)を代入すると、次のように $\cos \phi_{e0}$ に関しての方程式となる。

$$(\cos \phi_{e0})^4 + (\cos \phi_{e0})^3 + D \cdot \cos \phi_{e0} - D = 0 \quad (22)$$

ただし $0 \leq \phi_{e0} \leq \pi/2$ の範囲で

$$D=3.75 \cdot V_g/V_g^2$$

この方程式から $\cos \phi_{e0}$ を求めることにする。図8に式(22)の解をニュートン法で求めた計算結果を示す。また、気孔率0%の場合、図3のモデルから求まる $\cos \phi_{e0}$ と式(22)の解とが一致することから、図3のモデルを用いて、砥粒を点として、モンテカルロシミュレーションにより $\cos \phi_{e0}$ を求めた結果も同図に示す。ほぼ、式(22)の解とシミュレーション結果が一致していることがわかる。等価角度および結合可能な砥粒数 n_g の算出方法は、妥当であることが推定される。

なお、 ϕ_{e0} を2次曲線に近似すると、

$$\phi_{e0} = -31.1V_g^2 + 66V_g, \quad 0 \leq V_g \leq 0.65 \quad (23)$$

となる。この時の相関係数は0.999である。

2.4 平均伝播砥粒間隔

砥石内の気孔率が増加すると、結合橋数は減少するが、平均伝播砥粒間隔 S_g を推定するため、結合橋の長さに関係なくランダムに減少するものと仮定する。つまり、砥粒間隔の分布は変化しないで、その総数が減少することになる。したがって、平均伝播砥粒間隔は S_g は、変化しないことになる。よって、式(8)から

$$S_g/d_g=1/(1.5 \cdot V_g \cdot \cos \phi_{e0}) \quad (24)$$

となる。

2.5 伝播距離

図9のように砥石内の伝播経路を仮定し、 ϕ_e および S_g から結合剤および砥粒内の伝播距離 L_b と L_g を求める。結合橋の一つの長さ S_b は、図に示すように砥粒間隔 S_g から平均砥粒径 d_g を除いたものに相当するので、砥石単位長さ当たりの結合剤内の伝播距離 L_b を求めると

$$L_b=(S_g-d_g) \cdot m_g=(1-d_g/S_g)/\cos \phi_{e0} \quad (25)$$

となる。ただし、 m_g は、砥石単位幅当たりの音波が遭遇する平均個数を示し、 S_g は平均砥粒間隔を示す。なお、 m_g は $1/(\cos \phi_{e0} \cdot S_g)$ で与えられる。

一方、砥粒内の伝播距離については、同図のように音波の性質から最短距離を進むことを考慮しているので、等価角度 ϕ_e が一定であっても、音波の入射点AおよびBによって砥粒内の伝播距離 S_g は変化する。そこで、 ϕ_e を一定として砥粒1個の平均伝播距離 S_{g0} を数値計算により求めることにする。その計算結果を図10に示す。 S_{g0} は、 $\cos \phi_{e0}$ に比例することがわかる。そこで、計

Fig.9. Propagation model

Fig.10 Propagation distance in a grain

Fig.11 Calculated propagation distance in grain and bond

算結果を等価角度 ψ_a の1次関数に近似して、 S_{ga} を求めると

$$S_{ga} = \{0.537 \cdot \cos \psi_a + 0.459\} \cdot d_g \quad (26)$$

で与えられる。この場合の相関係数は、等価角度 ψ_a が0から60°の範囲で0.999となり、良好な近似であることがわかる。この結果に基づいて砥粒内の伝播距離 L_g を求めると、次式となる。

$$L_g = S_{ga} \cdot \sin \psi_a = \{0.537 + 0.459/\cos \psi_a\} d_g / S_g \quad (27)$$

ここで、導出された式から弾性係数を求める手順を示す。

- ① ψ_a および V_g を式(23)および式(13)から求める。
- ② n_g および n を式(14)式および式(16)から求める。
- ③ $\cos \psi_a$ および S_g/d_g を式(21)および式(24)から求める。
- ④ L_g と L_b を式(25)および式(27)から求める。
- ⑤ 砥石の縦波および横波の伝播時間を式(4)を用いて求める。
- ⑥ 砥石の弾性係数を式(1)、式(2)および式(3)を用いて求める。

また、この計算手順に従って、 L_b と L_g を計算すると、図11のようになる。ただし式(16)の C は1としている。図から、気孔率が大きくなると、 L_b および L_g が急激に長くなることがわかる。また、第1報で求めた無気孔率のマトリックスタイプの砥石の伝播距離と上記で求めたブリッジタイプの砥石の近似式で気孔率0の場合のものとを比較した結果を図12に示す。両者はほぼ一致していることから、ブリッジタイプの砥石の近似式は、マトリックスタイプの砥石に対しても近似できることがわかる。

3. 実験方法

一般に超砥粒ホイールは、WA砥石やGC砥石などの一般砥石に比べ、高価である。また、超砥粒ホイールおよび一般砥石に用いられている砥粒および結合剤は、機械的な物性は異なるが、導

Fig.12 Comparison of approximate formula between bridge type and matrix type

Table 1 Mechanical property

Grain		WA	GC
Elastic modulus	GPa	245	377
Poisson's ratio		0.19	0.18
Density	kg/m ³	3950	3220
Bond		V	B
Elastic modulus	GPa	73.5	5.88
Poisson's ratio		0.21	0.33
Density	kg/m	2400	1700

出された近似式の妥当性を評価するには、一般砥石を用いても十分判断できると考えられる。そこで、超砥粒ホイールの代用として、次の2種類の試料によって、近似式の評価を行うことにする。

①WAビトリファイド砥石、②10×6×40mmのレジンボンド結合剤にSiCを添加して製作したスティック状の試料（以下、GC砥石と呼ぶことにする）。WA砥石の弾性係数およびその縦波の伝播時間は、過去に砥石の弾性係数に関する報告の中で用いた値を引用して用いることにする⁴⁾。WAビトリファイド砥石として、粒度#46、#60、#80と砥粒率44～52%および結合剤率8～20%のものをを用いている。GC砥石は、粒度#150、#320、#600の3種類で、砥粒率6～61.5%のものを使用している。なお、GC砥石の気孔率は、砥石の密度と、砥粒および結合剤の比重から計算によって求めている。また試料の縦波の伝播時間を0.5MHzと1MHzの超音波を用いて超音波パルス透過法により測定している。なお、近似式に用いた砥石および試料の機械的性質を表1に示す⁵⁾。

4. 測定結果と評価

粒度#46のWA砥石の縦波の伝播時間の測定結果と近似式の計算結果をそれぞれ図13と図14に示す。近似式の計算結果は、式(15)の結合剤有効率 C を1としている。つまり、結合剤がすべて砥粒の結合橋として有効に働いたと考えられる場合に相当する。両図から伝播時間の測定値に比べ、近似式による計算結果は、全体的に短くなっているが、砥粒率、結合剤率の変化に対する伝播時間の傾向は、よく一致していることがわかる。したがって、近似式で求めた弾性係数は、測定値に比べ高くなることがわかる。また、測定した伝播時間からWA砥石の結合剤有効率 C を求めると図15のようになる。横軸は近似式から求まる平均結合砥粒数で、縦軸は伝播時間の測定結果からもとめた平均結合砥粒数を示す。結合剤有効率 C は、図中の直線の傾きに相当する。図から結合剤有効率 C を決定すると、約0.7となる。したがって、 C の定義から考えると、WAビトリファイド砥石は、結合剤の70%が結合橋として働いていると見なせる。次に、 $C=0.7$ として近似式から求めた砥石の弾性係数と測定値を図16に示す。図から両者は一致することがわかる。したがって、結合剤有効率 C は、砥粒率、結合剤率、気孔率に無関係で砥粒と結合剤の種類で決まる

Fig.13 Measured propagation time on WA grinding wheels

Fig.14 Calculated propagation time on WA grinding wheels

Fig.15 Comparison of combined grain number

係数であると見なせる。そして、結合剤有効率 C が明らかであれば、砥石の組成から砥石の弾性係数を求められることになる。

次に、GC砥石の場合についても同様に上記のWA砥石と同様に結合剤有効率 C を決定し、測定値と近似式の縦波伝播時間と弾性係数を比較する。結合剤有効率 C は約0.3となる。WA砥石と比較するとかなり小さくなる。GC砥石は、砥粒とレジノイドボンドの密着性が悪いことを考えると、妥当な値と考えられる。図17に縦波の伝播時間の測定値と $C=0.3$ とした場合の近似式の計算結果を示す。また、同図に気孔率も併記する。両者の伝播時間は、高気孔率の場合だけでなく、低気孔率の場合にもよく一致することがわかる。そして、図18にGC砥石の弾性係数の測定値と近似式の計算結果を示す。図より両者は、同様に低気孔率から高気孔率までよく一致することが認められる。したがって、結合剤有効率 C を適切に選べば、近似式は、低気孔率から高気孔率まで近似することができる。ことがわかる。

5. おわりに

音波の伝播モデルを用いて、有気孔砥石の弾性係数の近似式を導出した。そして、その近似式の妥当性を評価するために、超砥粒ホイールの代わりにWA砥石およびGC砥石の弾性係数を用いて比較した結果、良好な近似ができることがわかった。しかし、砥粒および結合剤の種類に応じて、結合剤有効率 C を推定しておく必要がある。また、この近似式は、ブリッジタイプおよびマトリックスタイプの砥石を問わず、幅広く弾性係数を近似する可能性があることがわかった。しかし、導出した近似式の妥当性は得られたもの、実際に超砥粒ホイールに適用する場合の考慮すべ

Fig.16 Comparison of measured elastic modulus with calculated results on WA grinding wheels

Fig.17 Comparison of measured propagation time with calculated results on GC resinoid grinding stones

Fig.18 Comparison of measured elastic modulus with calculated results on GC resinoid grinding stones

き点については示していない。この点に関しては次報にて検討する予定である。

謝 辞

本研究の実施にあたり貴重な試料の提供ならびにご助言をいただきましたノリタケダイヤ(株)河端則次氏に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 幾瀬康史, 海野邦昭: 音波による超砥粒ホイールの弾性係数の導出に関する研究 (第1報) - 無気孔砥石の弾性係数の近似式 -, 精密工学会誌, 65, 8 (1999) 1174
- 2) 例えば, A. Papoulis (山中謙二, 根本 幾, 町田一訳): 確率とランダム変数, 東海大学出版会, (1997) 81.
- 3) 例えば, 鈴木義一郎: 現代人の統計・統計解析法の原理, 朝倉書店, (1983) 105.
- 4) 海野邦昭, 篠崎 襄: 研削砥石中の超音波の伝播速度-研削砥石の結合度測定に関する研究(第1報)-, 精密機械, 36, 8 (1970) 538.
- 5) 長尾高明, 中島信行, 竹中規雄, 岡田昭次郎, 豊島五十二, 亀田次彦: ビトリファイド砥石の機械的性質 (第3報) - WAおよびGC砥石の破壊強度および弾性率 -, 精密機械, 48, 8 (1982) 985.