研 究

研削性能に及ぼすみぞつきコンタクトホイールの効果*

中 島 基 雄** 井 戸 守***

On the Effect of the Serrated Contact Wheel to the Grinding Ability

Motoo NAKASHIMA, Mamoru IDO

For serrated contact wheels with different surface profiles and rubber hardnesses, the variation of the contact pressure between the contact wheel and the workpiece and the grinding ability of abrasive belts with a certain contact rigidity have been studied. The study revealed the close relation between the grinding ability and the change of the contact pressure. Main results are as follows.

(1) The ratio between the effective and theoretical depth of cut and $\Delta P/P$ (pressure variation/mean pressure) are proportional in case the rubber hardness of the serrated contact wheel and the setting depth of cut are same, even if, there is difference in form of the serration.

(2) The relation between the ratio and $\Delta P/P$ exhibits also one proportion in case the rubber hardness and the serration of the contact wheel are same without regard to the setting depth of cut.

(3) For a constant $\Delta P/P$, the depth of cut ratio increases with the increase of the grinding speed. This tendency is emphasized with the increase of the setting depth of cut in the case of (1), and with the decrease of the height of the serration profile in the case of (2).

(4) The depth of cut ratio is accurately given by measuring $\Delta P/P$, which take different values according to profiles of serration and hardnesses of rubber.

1. 緒 言

ベルト研削においてコンタクトホイールにセレーションを付けるのは研削量の増加を図るのが目的であるが、それが研削機構に及ぼす効果についてはまだ明らかではない。コンタクトホイールのかたさとセレーションの形状が異なると、工作物との接触におけるコンタクトホイール内の圧力分布については若干の報告¹⁾²⁾はあるが、研摩ベルトの剛性との関係および研削性能に及ぼす影響については明らかにされていない。この研究ではコンタクトホイールの形状とかたさおよび研削速度が変化した場合について回転に伴う接触圧力の変化と研削量の関係を解析した結果について報告する。

2. 実 験 装 置

図1は種々のみぞつきコンタクトホイール

* 原稿受付 昭和52年7月25日。昭和52年度精機学会関西地方定期学術講演会(昭和52年6月7日)にて発表。

** 正 会 員 大阪府立工業高等専門学校(寝屋川市幸町26番12号)

*** 正 会 員 大阪府立大学工学部(堺市百舌鳥梅町4丁804)

と平面との接触面積を求めるための実験装置の概観を示す。図2は装置組立図である。みぞつきコンタクトホイール③と印画紙⑥の接触には垂直荷重用としておもり④を用いた。また垂直荷重と同時に接触荷重もかけた実験も少量行った。⑪は接線荷重用おもりで、印画紙⑥の黒フィルム⑦とともに貼付した測定用ガラス⑤をVみぞつきブロック⑨と滑車⑩を介して接線荷重用ワイヤ⑫で引張っている。そのときは、みぞつきコンタ

図1 実験装置

1: アーム, 2: 軸, 3: みぞつきコンタクトホイール, 4: 垂直荷重用おもり, 5: 測定用ガラス, 6: 印画紙, 7: 黒フィルム, 8: 割出し板, 9: V みぞつきブロック, 10: 滑車, 11: 接線荷重用おもり, 12: 接線荷重用ワイヤ

図2 装置組立図

トホイールと測定用ガラスの最大摩擦力も測定してその量だけ接線荷重に追加した。また垂直および接線方向に同時に荷重をかけた場合の測定に用いたみぞつきコンタクトホイールの型式およびゴムかたさはそれぞれ $10 \times 10 \times 10$ (谷幅 $\times$ ランド高さ $\times$ ランド長さ) および 70 デュロである。

また接触部分の測定用の名刺板印画紙の下に黒フィルムを置き、両者を測定用ガラスにセロテープで貼付した(この方法は印画紙を使用して接触面積の測定を行うので印画紙法と名づける)。また接触部分を変化させるためみぞつきコンタクトホイールを回転するのに自製の割出し板⑧を用い、ある角度にセットしたのち垂直荷重に対して上下方向の運動のみを可能とし、接線荷重をかけた場合は回転トルクによる影響がみぞつきコンタクトホイールだけに働くようにした。なお割出し板の穴間隔は1ピッチを4等分した角度、すなわちみぞつきコンタクトの歯数が20枚であるので、 $360^\circ/20 \text{ 枚} \times 1/4 = 4.5^\circ$ 間隔である。図3(a), (b) および (c) は前述の印画紙法による一例で、図3(a)は垂直荷重5kgおよび接線荷重2.1kg(接線荷重/垂直荷重=0.42)をかけたときの接触面積を示している。接線荷重をかけた場合はその方向に細長くなっている、同図(b)の垂直荷重5kgだけの場合より接触面積はわずかに約2%減少しているだけなので、今後の実験では垂直荷重による接触面積にした。同図(c)は従来のインク法³⁾でとった場合で、今回採用した図(a)および(b)のような印画紙法と比較すると、印画紙法の特徴として次のことが考えられる。

- (1) 1回の実験時間が非常に短い(1min以内)。
- (2) 境界部がはっきりと区別できる。

(a) 垂直荷重5kg, 接線荷重2.1kgをかけた場合(印画紙法)

(b) 垂直荷重5kgをかけた場合(印画紙法)

(c) 垂直荷重5kgをかけた場合(インク法)
型式: $10 \times 10 \times 10$, ゴムかたさ: 70 デュロ

図3 接触面積の一例

- (3) 直接印画紙を用いるので、実験後すぐ現象を行う。
- (4) 欠点としては印画紙は乾燥の際ちぢむので、印画紙上の面積に倍率をかけねば正確な接触面積にならない(本研究では倍率は1.034である)。

3. 実験条件

使用したみぞつきコンタクトホイールの仕様および実験条件を表1および表2に示す。

4. 圧力変化の定式化

前述の方法で測定した接触面積はみぞつきコンタクトホイールの回転に伴う接触面積の変化で、1ピッチを1周期とした周期的変化である。しかしこの実験の場合は形状からのみの紙上計算であり、弾性変形による考慮はなされていないが、真に接触した場合における接触面積の変化と定性的には同一と考えられるので、まず一定の接触長さにおける接触面積を計算により一般化した周期

表1 みぞつきコンタクトホイールの仕様

寸法	φ180×50 mm (外径×幅)
かたさ(デュロメータ)	Hs: 50, 70
心金材質	アルミニウム
表面形状 (みぞつきコンタクト ホイール)	10×5×10 (谷幅×ランド高さ ×ランド長さ)
	10×10×10 (同上)
	10×15×10 (同上)
セレーションアングル	45°

図4 計算値を求める方法

No.	ゴム硬度 (デュロ)	型 式	垂直荷重 (kg)
1			3.0
2			5.0
3		10×5×10	7.6
4			9.2
5			11.2
6			3.0
7			5.0
8	50, 70	10×10×10	7.6
9			9.2
10			11.2
11			3.0
12			5.0
13		10×15×10	7.6
14			9.2
15			11.2

図5 回転角と接触面積との関係(計算値)

関数を求める。次に弾性接触の場合の面積をセレーションの1ピッチを4等分した点について求め、前述の周期関数に代入して得られた定数項から、圧力変化を算定して比較した。

4.1 圧力変化の関数表示

みぞつきコンタクトホイールの1ピッチを1周期とし、それが繰返される関数を考えると、次のフーリエ級数で表される。すなわち

$$\begin{aligned}
 y &= f(x) \\
 &= a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + a_i \cos ix \\
 &\quad + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots + b_i \sin ix \\
 &= a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos ix + b_i \sin ix)
 \end{aligned} \quad (1)$$

本研究では上式に示された級数の有限項によって近似的に実験値を曲線にのせる方法をとる。簡略化して実験値が $i=1$ 項までによって表されると仮定すると、近似的に、

$$y = f(x) = a_0 + a_1 \cos x + b_1 \sin x \quad (2)$$

となる。またさらに変形して正弦波のみの関数にすると次のようになる。

$$y = f(x) = a_0 + \text{AMP} \sin(x + \text{PA}) \quad (3)$$

ただし、 $a_1/b_1 = R$, $\tan^{-1} R = \text{PA}$ とすると $\text{AMP} = a_1/\sin(\text{PA}) = b_1/\cos(\text{PA})$ となる。

また式(3)は次のことを表す。 y : 接触面積あるいは接触圧力, a_0 : 面積平均値あるいは圧力平均値, AMP : 振幅(最大変動値), x : 回転角(度), PA : 初期位相角($\sin x$ のグラフからのずれ)。

4.2 式(3)の適用性

図4(a)のようにランドピッチを12等分して、その等分線を中心線として同図(b)のように両側にそれぞれ $5\sqrt{2}$ mmずつ、合計 $10\sqrt{2}$ mmを便宜上接触長として、各分割区分上の面積を計算で求めた。それらの値と回転角($360^\circ/12=30^\circ$ ずつ増加した値で、1ピッチを 360° と換算して拡大した)を入力として、コンピュータで関数を求めた。図5はこの場合の接触面積と回転角の関係で、式(3)は $y = 353.56 + 34.4 \sin(x + 11.7)$ となる。また計算した面積値もプロットしてある。この図から式(3)の妥当性が認められる。それで印画紙法による実験値としては1ピッチを4等分した点の値のみで式(3)から各定数値を求めた。表3はそれに使用したコンピュータ用プ

表3 フローチャート

プログラムのフローチャートを示す。またコンピュータの入力として接触圧力と回転角を用いる場合、接触圧力には各点の接触面積でそのときの垂直荷重を除した値を使用した。

5. 実験結果と考察

表4は印画紙法による実験結果である。また図6は垂直荷重と圧力振幅/圧力平均値 ($\Delta P/P$ と表す) との関係を示す。この図より本実験の範囲内ではいかなるみぞつきコンタクトホイールのゴムかたさおよび型式のもので、垂直荷重と $\Delta P/P$ の関係は傾斜の差はあるが、直線的な関係を示している。また図7(a)および(b)は前述の垂直荷重による圧力平均値 P と圧力振幅 ΔP との関係でみぞつきコンタクトホイールの型式およびゴムかたさのいかんにかかわらず圧力平均値の増加に伴い、圧力振幅は曲線型の増加を示す。また同一かたさのみぞつきコンタクトホイールでは同一の P に対して歯の高さの低い方が ΔP は大きい。また同一型式で同一荷重のときにはゴムかたさの大きい70デュロの方が P も ΔP も大きい。みぞつきコンタクトホイールのセレーションおよびゴムかたさにより研削性能のうちの切込み率が変わる一つの要因として $\Delta P/P$ が最も重要であると思われるので、 $\Delta P/P$ と切込み率の関係を求めた。その方法⁴⁾はテーブルに装置した研削動力計からストレンメータを経て電磁オンログラフから法線抵抗および接線抵抗を読み取り、同時に設定切込みに対する有効切込みを読み取って切込み率²⁾を求めた。

本実験では被削材が被削性のよいエポキシ樹脂のた

表4 印画紙法による実験結果

No.	ゴム硬度 (デュロ)	型 式	垂直 荷重 (kg)	圧力 (g/mm ²)		$\Delta P/P$
				平均値 P	振 幅 ΔP	
1	50	10×5×10	3.0	11.342	1.1569	0.102
2			5.0	14.266	1.2749	0.089
3			7.6	18.257	1.3263	0.073
4			9.2	22.455	1.4146	0.063
5			11.2	24.149	1.4504	0.060
6		10×10×10	3.0	10.912	0.8075	0.074
7			5.0	12.953	0.8691	0.067
8			7.6	16.285	0.9189	0.056
9			9.2	18.149	0.9219	0.051
10			11.2	20.201	0.8686	0.043
11	70	10×15×10	3.0	11.180	0.6601	0.059
12			5.0	13.580	0.7268	0.054
13			7.6	17.082	0.8029	0.047
14			9.2	19.508	0.8514	0.044
15			11.2	22.010	0.8584	0.039
1		10×5×10	3.0	20.449	2.3107	0.113
2			5.0	23.365	2.3989	0.103
3			7.6	29.102	2.5319	0.087
4			9.2	32.763	2.6210	0.080
5			11.2	37.049	2.5564	0.069
6		10×10×10	3.0	18.249	1.5147	0.083
7			5.0	21.215	1.6354	0.077
8			7.6	26.360	1.7661	0.067
9			9.2	28.814	1.8235	0.063
10			11.2	32.045	1.8586	0.058
11		10×15×10	3.0	18.049	1.2815	0.071
12			5.0	22.246	1.4502	0.065
13			7.6	27.978	1.5533	0.056
14			9.2	31.183	1.6215	0.052
15			11.2	35.498	1.6684	0.047

め、接線抵抗/法線抵抗は約0.4で静的実験の場合とほぼ一致しているので、接触面積も静的実験の場合と同様に法線抵抗のみを考えてよいと思われる。この場合の実験条件を表5に示す。また研摩ベルトは同一剛性の研摩ベルト(本研究では環境温度10°C、研摩ベルトにかかる荷重10kgの条件下でのひずみが 1.120×10^{-6} で剛性は5.85 kg/mm)を用いた。表6は実験結果で、切込み率および法線抵抗は前述の実験方法で求め、 $\Delta P/P$ は法線抵抗(静的実験の場合は垂直荷重)より図6を用いて求めた。

図8(a)および(b)はゴムかたさが50デュロと70デュロの場合の $\Delta P/P$ と切込み率の関係を示し、線形④群は研削速度および設定切込みが一定で型式が変化した場合を示している。この図よりみぞつきコンタクトホイー

図6 垂直荷重と $\Delta P/P$ の関係

(a)

(b)

図7 圧力平均値 P と圧力振幅 ΔP との関係

ルの歯の高さの低い方が切込み率は大きい。また⑥群は研削速度および型式が一定の場合で設定切込みが変化

表5 実験条件

研 磨 ト	寸 法	1525×50×0.6 mm (長さ×幅×厚さ)
	粒 度	CC #50
	接着剤	レジノイドボンド
被 削 材	材 質	エポキシ樹脂
	寸 法	100×30×10 mm (長さ×幅×厚さ)
実 験 条 件	研削方法	乾 式
	みぞつきコンタクトホイールの rpm	600, 800 rpm
	みぞつきコンタクトホイールの周速度	360, 450 m/min
	設定切込み	0.3, 0.4, 0.5 mm
	テーブル送り速度	5 m/min
	初張力	16 kg

表6 実験結果

(デ ニ ロ 硬 度)	型 式	設 定 切 込 み (mm)	切込み率(%)		法線抵抗 (kg)		$\Delta P/P$	
			研削速度 (m/min)		研削速度 (m/min)		研削速度 (m/min)	
			360	450	360	450	360	450
50	10×5×10	0.3	12.4	15.0	4.8	3.6	0.092	0.097
		0.4	18.5	23.0	5.3	4.4	0.087	0.092
		0.5	23.0	28.4	5.8	5.5	0.084	0.086
	10×10×10	0.3	10.5	12.5	5.0	3.4	0.067	0.073
		0.4	15.6	19.0	6.2	5.0	0.062	0.067
		0.5	18.5	22.5	7.9	5.9	0.056	0.063
	10×15×10	0.3	9.0	10.2	7.3	6.3	0.048	0.050
		0.4	13.6	15.8	8.1	7.6	0.046	0.047
		0.5	16.3	20.4	9.4	8.6	0.043	0.045
70	10×5×10	0.3	17.5	21.0	4.4	3.1	0.106	0.113
		0.4	27.5	31.8	6.0	4.6	0.094	0.105
		0.5	32.0	37.6	7.0	6.2	0.092	0.096
	10×10×10	0.3	15.0	17.8	5.0	3.2	0.077	0.082
		0.4	22.6	25.9	7.1	6.4	0.070	0.072
		0.5	26.8	31.2	8.6	8.6	0.065	0.067
	10×15×10	0.3	13.0	15.5	8.4	7.0	0.055	0.059
		0.4	20.0	22.5	9.5	8.8	0.052	0.054
		0.5	23.5	27.0	10.4	9.9	0.049	0.051

した場合を示している。この場合は設定切込みが大きい、すなわち法線抵抗が大きい(表6参照)方が切込み率は大きい。またゴムかたさが同じであれば④群および⑥群はそれぞれ設定切込みおよび型式のいかんにかかわらず $\Delta P/P$ と切込み率の関係は直線的である。また同一の $\Delta P/P$ に対する切込み率の値は研削速度およびゴムかたさが大きい方が大きく、また同一かたさの場合はその差は①の場合では設定切込みの大きいものほど、②の場合では歯の高さの低い型式のものほど大きい。

図8 $\Delta P/P$ と切込み率との関係

6. 結 論

種々のみぞつきコンタクトホイールに垂直荷重をかけた場合、接触面積を印画紙法により求め、その接触面積とみぞつきコンタクトホイールの回転角を入力としてコンピュータで関数を求め、それより圧力振幅/圧力平均

値 ($\Delta P/P$) を決定して、この値と切込み率の関係をみぞつきコンタクトホイールの型式、コムかたさおよび研削速度を変化した場合について求めた。その結果として、

- (1) コムかたさおよび設定切込みが同じであれば、みぞつきコンタクトホイールの歯の形状にかかわらず切込み率と $\Delta P/P$ の関係は直線的である
- (2) コムかたさおよびコンタクトホイールの歯の形状が同一であれば、設定切込みのいかににかかわらず切込み率と $\Delta P/P$ の関係は直線的である
- (3) 種々のみぞつきコンタクトホイールの切込み率は、その回転に伴う周期的な圧力変化によって求められるので、研削速度、コムかたさおよび型式の異なるみぞつきコンタクトホイールの場合、接触圧力の変化をもとにして研削量を説明することかきける

本研究において研摩ヘルトの剛性は一定であるが、これか変化すると $\Delta P/P$ と切込み率の関係は変化すると思われる。

文 献

- 1) 難波義治, 津和秀夫. ベルト研削に関する研究 (第2報), 精密機械, **36**, 7 (1970) 478.
- 2) 北島弘一, 田中行雄. 表面形状の異なるコンタクトホイールの研削作用について——ヘルト研削に関する研究 (第1報), 精密機械, **37**, 9 (1971) 652.
- 3) 中島基雄, 松本栄一郎, 大植英司. ベルト研削に関する基礎的研究, 日本機械学会関西支部第44期定時総会学生員卒業研究発表講演会講演論文集 (1969) 106.
- 4) 中島基雄ほか: ベルト研削に関する研究 (第2報), 主としてセレーンションに対する研削性について, 昭和44年度精機学会秋季大会学術講演会前刷 (1969) 151.