

セグメント接着方式における自動車用湿式クラッチの摩擦特性について

Friction Property of Segment Bonded Type Wet Clutches for Automatic Transmission

三浦 達人* 関根 登*
Tatsuhito MIURA Noboru SEKINE

畔上 敏明* 村上 康則*
Toshiaki AZEGAMI Yasunori MURAKAMI

要 旨

自動車用自動変速機に使用されているペーパー系湿式多板クラッチ(セグメント接着方式)の溝形状およびクラッチ摩擦材気孔特性の動摩擦特性への影響についての解析を試みた。解析手法として、クラッチ摺動面可視化による係合時の摩擦材接触状況の観察およびライニング面での自動変速機油(以下、ATF)浸透速度の測定による油膜排除性の評価を行った。これにより湿式クラッチ係合時における初期動摩擦発生要因の把握を行った。溝数の多い(多セグメント形状)クラッチディスクでは、ライニング面でのATFの浸透性に影響され難く安定した動摩擦特性が得られる。

ABSTRACT

The effect of the groove configuration of segment bonded type paper-based wet clutch and porosity of friction materials on dynamic friction property was evaluated in this paper. This evaluation was carried out through a visualization of sliding surface of the clutch disk and a measurement of the automatic transmission fluid permeation speed into the lining at the surface of friction plate. Friction plate configurations with large numbers of grooves (segments) exhibited stable dynamic friction properties with respect to changes in the oil permeability of the friction materials through this evaluation.

1. まえがき

自動車用自動変速機(以下、AT)に対する、変速商品性、信頼性、省燃費化などの性能向上要求が年々高まってきた中で、現在、AT用クラッチとして広く使われ、上記性能に大きく影響するペーパー系湿式クラッチに対しても、同様の要求が高くなってきている。湿式クラッチの重要な特性の一つである動摩擦特性は、ATのトルク伝達特性に関わり、変速商品性に大きな影響を及ぼすことから、クラッチ動摩擦特性の安定化は大きな課題となる。

最近時、本田のATにおいてセグメント接着方式のクラッチディスクの採用が増加してきており、このセグメ

ント形状の違いによるクラッチ動摩擦特性への影響度の解析を行ったのでその内容を述べる。

解析にあたり、セグメント形状の違いによる影響と同時に、ペーパー系摩擦材の特徴である材料気孔特性の違いの影響も同時に解析した。クラッチ動摩擦特性への影響度、メカニズムを把握するため、動摩擦特性の測定、クラッチ係合時の摺動面の可視化観察、ライニング面自動変速機油(ATF)浸透速度測定を行ない、動摩擦特性と摺動面油膜排除性との相関を考察した。最後に、クラッチバック単体耐久テストにより、セグメント形状の違いおよび材料気孔特性の違いによる動摩擦特性の耐久安定性の評価を実施した。

*栃木研究所

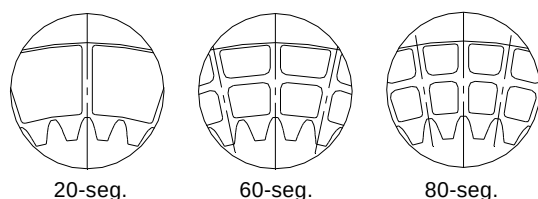


Fig.1 Groove patterns of friction plates

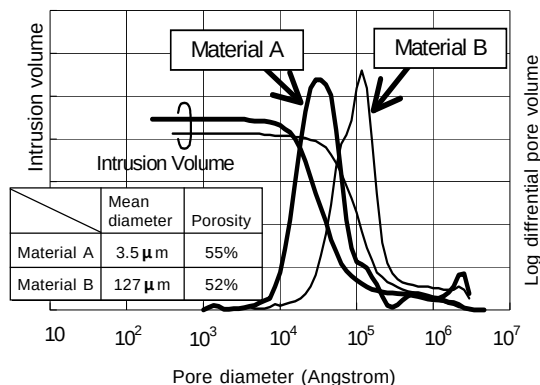


Fig.2 Pore distribution of material A & B

2. クラッチ摩擦特性

2.1. ディスク仕様

動摩擦特性に対する湿式クラッチの溝形状、材料気孔特性の影響について解析のため、以下に示すクラッチディスクを用意した。

試験ディスク形状として、抄紙および樹脂含浸後のペーパー系摩擦材を任意形状にカットし、ディスク芯板への接着による方式(セグメント接着方式)にて三種のディスク形状すなわち、円周方向に20分割した20セグメント形状、円周方向に30分割、径方向に2分割した60セグメント形状、円周方向に40分割、径方向に2分割した80セグメント形状ディスクを製作した。ディスクセグメント形状をFig.1に示す。ディスク溝巾は、放射溝巾0.75mm、中央部円周溝巾1.0mmとした。ディスク摩擦材片面面積は、それぞれ 39.2cm²(20-seg.)、32.5cm²(60-seg.)、30.7cm²(80-seg.)である。

試験ディスク摩擦材料として、二種類(A、B材)の気孔特性の違うペーパー系摩擦材を用意した。水銀圧入法により測定した気孔特性値をFig.2に示す。摩擦材料気孔特性は、平均気孔径で比較すると、A材<B材の位置付けにある。

Table 1 Test conditions

Engagement speed (rpm)	3000
Inertia (kgm ²)	0.147
Lining pressure (MPa)	0.34, 0.57, 1.05
Oil volume (cc)	800
Oil temperature (°C)	60, 80, 120
Oil type	ATF
Lining diameter (mm)	$\phi 120(\text{O.D.}) \times \phi 94(\text{I.D.})$
Lining thickness (mm)	0.4
Mean radius (mm)	56
Number of friction surfaces	6

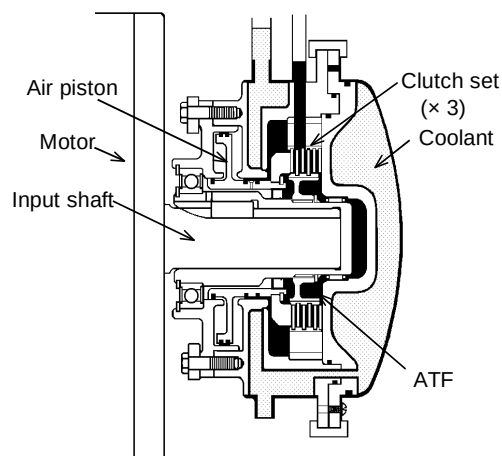


Fig.3 Schematic of SAE#2 tester

2.2. 試験条件

Fig.1、2に示す各クラッチディスクの動摩擦特性をSAE#2慣性試験機にて測定、評価した。Fig.3にSAE#2試験機の概要を、Table 1に試験条件を示す。相手プレートは、厚さ2.3mmの鋼板プレートとした。

2.3. 動摩擦特性

Table 1に示す、ライニング面圧1.05MPa、油温100°Cの条件にて500サイクルの慣らし運転後、各ライニング面圧、油温条件にて動摩擦特性を測定し、結果をゾンマーフェルト数 $S = \eta \cdot V / P$ により整理した。ここで η はATF粘度(Pa·s)、 V はディスク有効半径倍摺動速度 (m/sec)、 P はライニング面圧(Pa)を示す¹⁾。

ATF粘度は試験初期油温からASTM粘度式より換算した。動摩擦値の測定は2400rpmから400rpm迄、400rpm毎の回転数にて測定した。

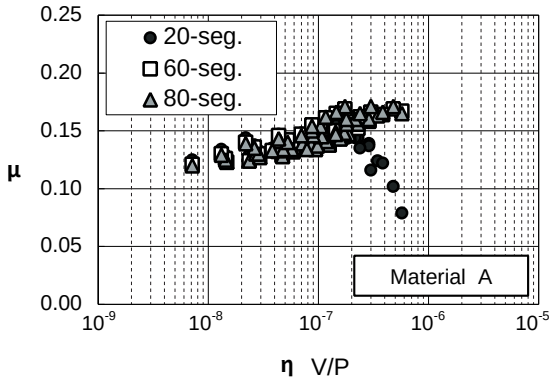


Fig.4 Effect of groove configurations

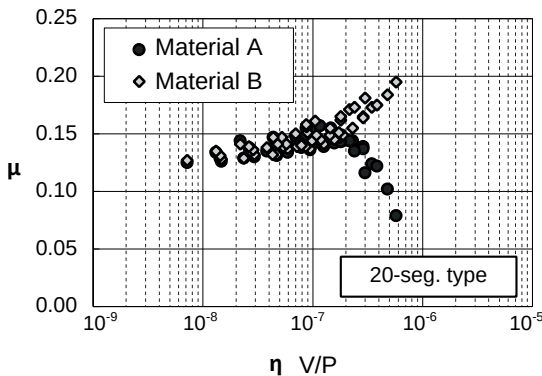


Fig.5 Effect of friction materials

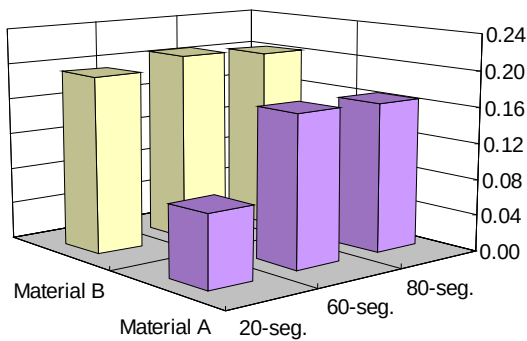

Fig.6 Comparison of μ_{2400}

Fig.4に三種の溝形状違い(A材)による摩擦特性測定結果をFig.5にA材およびB材による摩擦材気孔特性違い(20セグメント形状)による摩擦特性測定結果を示す。S値の高い領域(1.0×10^{-7} 以上)において溝形状、摩擦材気孔特性の違いそれぞれにより動摩擦特性が大きく変化しており、この摺動領域での動摩擦特性に差が見られた。

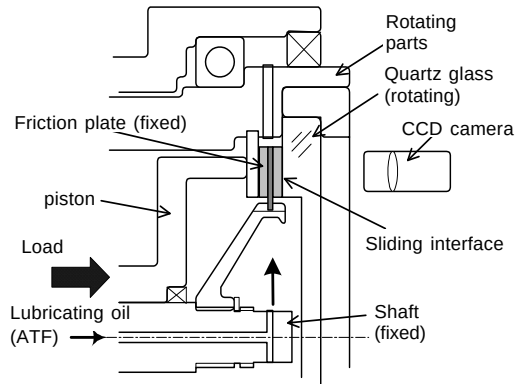


Fig.7 Apparatus of observing sliding interface

摩擦材気孔特性および溝形状差による影響について、係合初期における2400rpm時の動摩擦値(以下、 μ_{2400} 、面圧0.34MPa、油温60°C、 $S = 6.4 \times 10^{-7}$)をとって比較したものを、Fig.6に示す。係合初期の動摩擦値(μ_{2400})に対し、20セグメント形状では材料差(Fig.2)が大きく影響し、60セグメント以上の多セグメント形状では、材料違いの影響は小さく高い動摩擦値を示した。平均気孔径の大きいB材においては、係合初期動摩擦値(μ_{2400})はいずれの溝形状においても比較的高い動摩擦値を示し、A材に比較して溝形状の影響が少ない特性を示した。

3. 可視化解析

3. 1. 可視化装置

2. 1. に示したディスクセグメント形状と摩擦材気孔特性の動摩擦特性に対する差(Fig.6)を解析するため、クラッチ係合時の摺動面接触状況の可視化観察を行った。Fig.7に可視化装置の概要を示す。可視化に際しては、ディスク摺動面の画像撮影のため、クラッチディスク側を固定とし、相手面である石英ガラス面を回転させることにより、このガラス面を通しディスク摺動面の摩擦材接触状況を観察した。

試験モードは連続すべりモード(2400rpm、係合時面圧条件0.34MPa)とし、Fig.1、2に示した20および80セグメント形状ディスク、摩擦材としてA、B材を選び、クラッチ係合過程の摺動面状況をCCDカメラ(倍率 $\times 150$)により撮影した。画像は、ビデオ録画と同時に、デジタル画像のコンピュータ取り込みを行ない、同時に係合時に

Table 2 Test conditions of visualization

Rotational speed (rpm)	3000
Lining pressure (MPa)	0.34
Oil temperature (°C)	30-40
Oil flow rate (cc/min)	400
Oil type	ATF
Lining diameter (mm)	$\phi 120 \times \phi 94$
Lining thickness (mm)	0.4
Mean radius (mm)	56
Number of friction surfaces	2

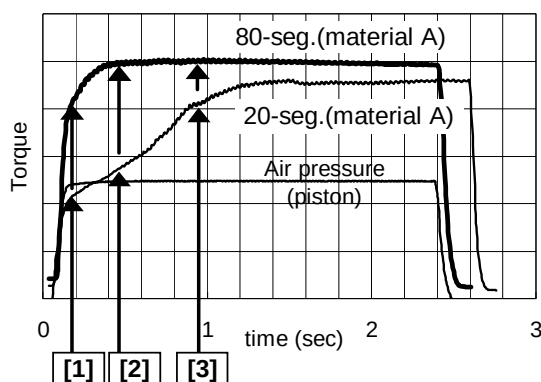


Fig.8 Torque trace and observation timing

発生する摩擦トルクの測定を行った。Table 2に試験条件を示す。

3. 2. 観察結果

係合時のトルク変化と摺動状態の撮影タイミングを、20セグメント(A材)および80セグメント(A材)の測定結果を代表してFig.8に示す。20セグメント(A材)では、係合直後のトルクが低く、時間経過と共にトルクが立ち上がって行く特性を示した。一方、80セグメント(A材)では、係合初期よりトルクの立ち上がりが高く安定した特性を示した。図中に示す[1]～[3]は、画像撮影タイミングを示す。

摺動面の係合時の観察結果を、Fig.9(20セグメント、A材)、Fig.10(80セグメント、A材)およびFig.11(20セグメント、B材)に示す。

20セグメント、A材ディスクでは、係合直後のトルクが低く(Fig.8)、時間経過と共にトルクが立ち上がって行く特性を示し、摺動面の状態(Fig.9)は、係合開始後、摩擦材繊維部を起点とし(初期接触部と考えられる)数個所

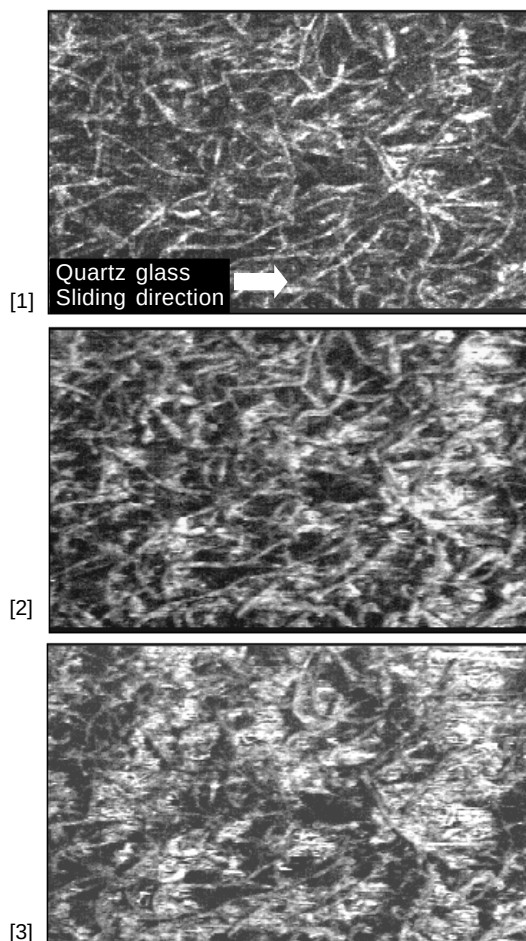


Fig.9 Sliding conditions of 20-seg., material A

から摺動方向後方に気泡の発生が見られ、徐々に気泡の発生領域が全域に広がっている。80セグメント、A材ディスクでは、係合直後より高いトルクが発生する一方(Fig.8)、摺動面状況(Fig.10)は、初期より摩擦材繊維部を起点とした摺動方向後方への気泡域が多数個所に発生し、急速に気泡域が広がっている。また、20セグメント、B材(平均気孔径大)ディスクでの観察では、Fig.11に示すように係合後の気泡域の発生が急激に増加していく係合状況が観察され、ここでは割愛するが、トルク発生も早く、80セグメント、A材ディスクと同様なトルク特性、係合状況を示した。

気泡域の発生と増加は、摺動面の実接触面積(摩擦材繊維部)の増加と考えられ、これにより係合後のトルクの発生と増加につながると考えられる。

クラッチ係合初期の接触面において、溝形状、摩擦材

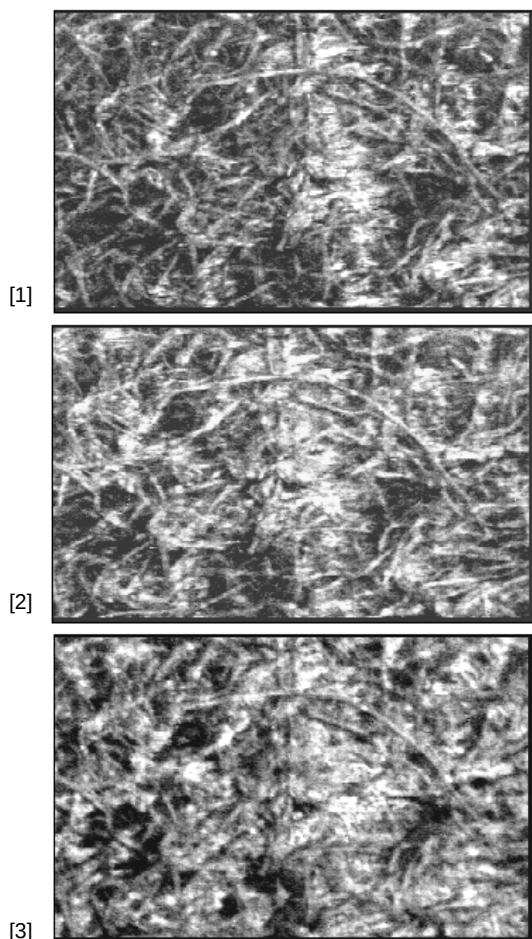


Fig.10 Sliding conditions of 80-seg., material A

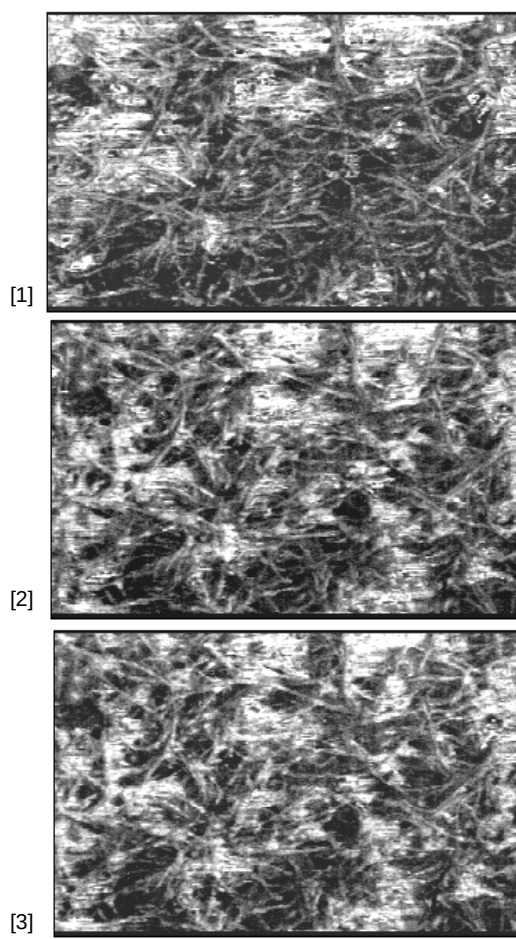


Fig.11 Sliding conditions of 20-seg., material B

気孔特性の差により油膜介在の差が発生し、係合後のディスク摺動面の接触率とトルクの発生(初期動摩擦値)に差ができると考えられる。気孔性を持つペーパー摩擦材の係合時の油膜状態については、油膜のある流体潤滑状態から繊維等の接触を伴った混合潤滑状態(油膜混在)への遷移と考えられ²⁾、20セグメント、A材(平均気孔径小)では摺動面の初期油膜排除性が悪く、一方80セグメント、A材(平均気孔径小)あるいは20セグメント、B材(平均気孔径大)では摺動面の初期油膜排除性が高く、これが初期動摩擦値の発生差になると考えられる。

ディスク摺動面、摩擦材繊維部に見られた気泡は、摺動繊維部に発生する負圧部に、ATF中、またはフェーシング摩擦材中のエアがトラップされたものと考えられるが、詳細の解明は今後の課題と考える。

4. 浸透性解析

4. 1. 浸透速度測定装置

可視化観察の結果より、初期動摩擦値の大きさはクラッチ係合初期の摺動面の摩擦材接触性(油膜排除性)に影響されると考えられ、クラッチ係合時における材料気孔特性差による油膜の浸透排除効果の把握が必要と考えられる。ディスク材の油膜排除効果を把握する上で、摩擦材の持つ気孔特性と共に、ディスク形状の影響を考慮する必要がある。溝の増加によりディスクセグメント形状は小型化し、この形状変化による油膜浸透性の影響を把握するため、Fig.1に示した各ディスクセグメント表面、中央部でのATF浸透速度を測定し、比較した。浸透速度試験装置の概要をFig.12に示す。

ATF浸透速度は各セグメント中央部、 $\phi 2.0\text{mm}$ 孔径部でのATF流入速度として定義した。ATFは空気圧により加圧

し、各加圧状態(以下、Pair)でのATF 1cc当たりの浸透時間より浸透速度を求めた。ディスクライニングの面圧は0.34MPaとした。測定ディスクは、試験前にSAE#2慣性試験機にて当たり付け後、油中にて充分含油した後に測定した。測定条件を、Table 3に示す。

4. 2. 浸透速度測定結果

Fig.13に、20および80セグメント形状ディスクとA、B材の組み合わせで、各セグメント面でのATF浸透速度を測定した結果を示す。80セグメント形状での浸透速度

Table 3 Test conditions of permeation speed measurement

Lining pressure (MPa)	0.34
Air pressure (MPa)	0.1、0.2、0.3、0.4
Oil temperature (°C)	30
Oil type	ATF

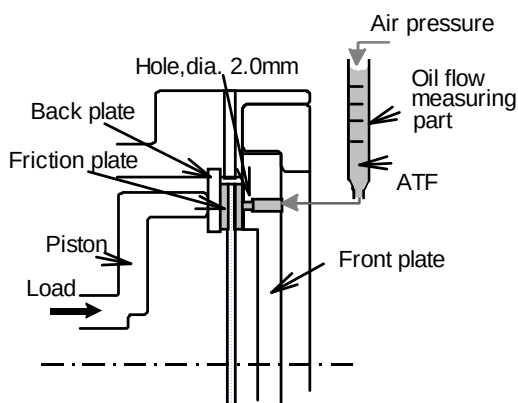


Fig.12 Apparatus for measuring the permeation speed

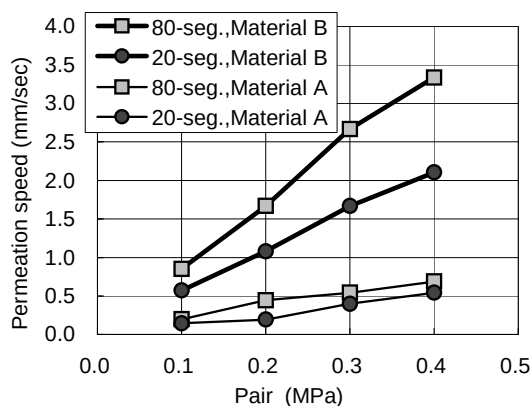


Fig.13 Permeation speed of each segment

は、ディスク外側セグメントの中央部にて測定した。浸透したATFの流れは、ディスク摩擦材内部流れと接触表面からの流れの合成と考えられる。セグメント形状小型化(20→80セグメント)、材料平均気孔径増加(A材→B材)により浸透速度は増加し、また浸透速度はほぼPairに比例している。

Fig.14に20、60、80セグメント形状およびA、B材でのATF浸透速度比較結果を示す。Pairは0.3MPaとし、各ディスクのセグメント五個所の平均値で比較した。20、60、80セグメント形状での浸透速度比較では、60および80セグメント形状での浸透速度の差は少ない結果となった。

多孔性を持つ湿式クラッチ材の、係合過程スキューズ圧発生時の油膜厚さの変化は²⁾³⁾、摩擦材の浸透性、形状、ATF粘度、圧力等に左右され、本報で示す浸透速度の値は、ディスクライニング面の形状効果を含んだ浸透性を示すと考える。Fig.14に示す浸透速度差がクラッチ係合時初期における摺動面の油膜排除性の大小を示すと考え、Fig.6に示した係合初期動摩擦値(μ_{2400})との比較を行った。Fig.14の各セグメント形状における浸透速度と μ_{2400} との相関比較をFig.15に示す。

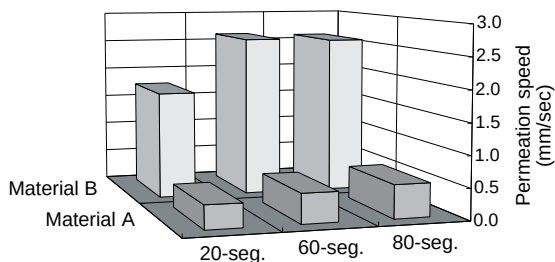


Fig.14 Comparison of permeation speed

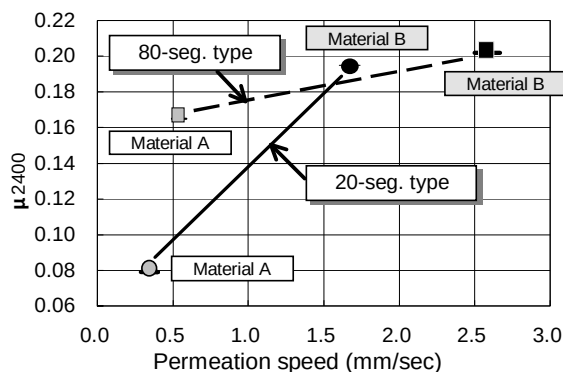


Fig.15 Relation between μ_{2400} and permeation speed

20セグメント形状では、ATF浸透速度の変化により μ_{2400} の値が大きく変化するが、80セグメント形状においては、浸透速度変化による μ_{2400} の変化は小さい。溝本数の多い、多セグメント形状ディスクにおいては、ATF浸透速度変化すなわち材料の気孔特性変化に対し、動摩擦特性が安定した傾向を示している。同一浸透速度での20セグメント形状と80セグメント形状との比較では、 μ_{2400} に差が見られ、この差が溝部による油膜の排出効果と考えられる。浸透性の低い材料において、動摩擦値に対し、溝数増加(多セグメント化)による油膜排除効果による影響が大きいと考えられる。

5. 耐久性の評価

5.1. 耐久条件

ディスク仕様差による動摩擦特性の耐久安定性を確認するために、クラッチバック耐久評価試験を実施した。耐久テスト装置として、慣性吸収式のクラッチバック試験機を用いた。クラッチバックのディスク枚数は三枚仕様とし、3000サイクルの係合耐久試験を実施し、耐久前後の動摩擦特性、ライニング面ATF浸透速度の変化を評価した。動摩擦特性は、2.2.で示したSAE#2慣性試験機を用いて測定し、ATF浸透速度は、4.1.で示した手法により測定した。クラッチバック試験機の概要をFig.16に、試験条件をTable 4に示す。

5.2. ディスク仕様

試験ディスク仕様はFig.1、2に示したものと同一仕様である。相手プレートとして、厚さ2.3mmの鋼板プレートをを用いた。

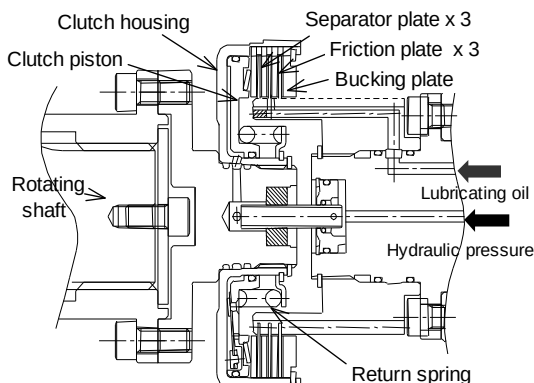


Fig.16 Schematic of clutch pack tester

5.3. 耐久結果

耐久前後の μ_{2400} (面圧0.34MPa、油温60℃)の変化をFig.17に、また耐久前後の各ディスクセグメント面における浸透速度の変化をFig.18に示す。浸透速度の測定条件はTable 3に示した条件とし、ATF加圧条件(Pair)は、0.3MPaとした。耐久後のATF浸透速度測定ディスクは、

Table 4 Durability test conditions

Engagement speed (rpm)	3000
Inertia (kgm ²)	0.833
Kinetic energy (J)	31000
Hydraulic oil pressure (kPa)	784
Piston area (mm ²)	800
Stop time (sec)	varied
Lubrication oil (cc/min)	800
Lubrication oil type	ATF
Oil temperature (°C)	100
Cycles of engagement	3000
Cycle interval (sec)	5on/15off
Number of friction surfaces	6
Pack clearance (mm)	0.8

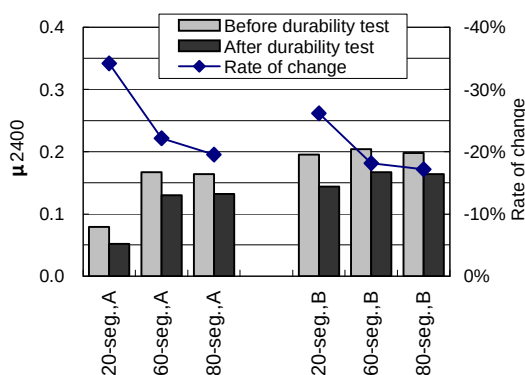


Fig.17 Change in μ_{2400}

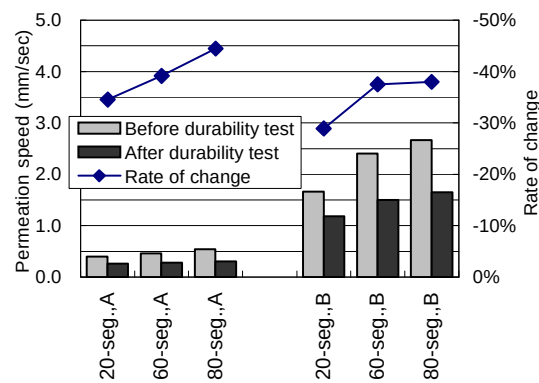


Fig.18 Change in permeation speed

クラッチパック中央部のディスクを代表として選択した。

$\mu 2400$ の耐久前後変化をみると、いずれの仕様も動摩擦値の耐久後低下が見られ、A、B材共、溝数の多い、多セグメント形状ディスクの動摩擦値低下が少ない傾向を示している。一方、ATF浸透速度は、いずれの仕様にも耐久後低下する傾向を示し、20セグメント形状ディスクに比較して、多セグメント形状ディスクの低下が大きい傾向が見られた。多セグメント形状ディスクでは、耐久前後の浸透速度変化に対し、動摩擦値の変化が少なく、より安定した動摩擦特性が得られている。

Fig.18に示す、耐久前後のATF浸透速度の低下は、ライニング材のへたり、目詰まりなどが原因として考えられるが、本耐久テストに見られた浸透速度の低下は、クラッチ係合面の発熱が高く、主にATF炭化物のデポジットによる目詰まりが支配的と考えられる。セグメント数が多い、より小型のセグメント形状における浸透速度低下が大きい傾向を示したのは、ディスク実面積差による発熱率(μ pv値大)の差による劣化差と考えられる。浸透速度が大きい摩擦材においては、耐久後もより高い浸透速度を持ち、高気孔径分布を持つ摩擦材は目詰まりによる耐久劣化に対し有利であるが、ディスク摩擦材選定の上では耐摩性、剥離強度などの他の耐久信頼性要因も同時に考慮して選定する必要がある。

6. まとめ

ペーパー系湿式クラッチ(セグメント接着方式)における、溝形状(セグメント形状)、材料気孔特性の動摩擦特性に対する影響について解析、評価し、以下の結果を得た。

- (1)クラッチディスク溝数の増加(多セグメント)により、ライニング材の平均気孔径増加と同様高い動摩擦値($\mu 2400$)が得られる。
- (2)ディスク形状差、材料気孔性差による摺動面の係合時油膜排除効果を、可視化により直接的に確認した。溝数の増加(多セグメント化)は、ライニング材平均気孔径増加と同様にクラッチ係合時摩擦材初期接触性が向上する。
- (3)ディスクライニング面での油膜排除効果を把握するために、ATF浸透速度を測定し、動摩擦特性($\mu 2400$)との比較を行った。溝数の多い多セグメント

形状ディスクでは、ATF浸透速度変化に対し、より安定した動摩擦特性が得られる。

- (4)クラッチパック耐久試験による、動摩擦値の耐久安定性を評価した。耐久後に動摩擦値の低下と同時に、ライニング面のATF浸透速度の低下が見られた。溝数の多い、多セグメント形状ディスクでは、耐久後のATF浸透速度低下に対し、動摩擦値の低下が少なく安定した耐久摩擦特性が得られる。

最後に、摩擦材の試作等に尽力していただいた(株)F.C.C.技術研究所、糸永氏、長谷川氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) T.Matsumoto, "A Study of the Influence of Porosity and Resiliency of a Paper-Based Friction Material on the Friction Characteristics and Heat Resistance of the Material", SAE Paper 932924, (1993)
- 2) L.L.Ting, "Engagement Behavior of Lubricated Porous Annular Disks", Wear, 34, (1975)
- 3) H.Wu, "An Analysis of the Squeeze Film between Porous Rectangular Plates" Trans. ASME, 71-Lub-2, (1972)

■著 者■



三 浦 達 人



関 根 登



畔 上 敏 明



村 上 康 則