

(技術資料)

## 湿式ディスクブレーキ付きウインチの開発

### Development of Winches with Wet-type Multi-disk Brakes



山縣克己\*  
Katsuki Yamagata



丹治雅人\*  
Masato Tanji

Drum-brakes (dry-type-brakes) have been used for conventional winches on mobile cranes. However, this kind of brake presents problems in terms of performance, size and maintenance under severe operating conditions. KOBELCO CRANES CO., LTD. has developed a new winch with a wet-type multi-disk brake (free-fall brake) to solve these problems. New crawler-cranes, equipped with these new winches, are now being commercially produced. These new winches have achieved wide-spread favorable reputation.

まえがき = 移動式クレーン(写真1)には巻上ウインチが搭載されており、そのウインチで物を吊上げて移動させるクレーン作業や地面を掘削するバケット作業(図1)などが行われる。ウインチにはクラッチが装着され、クラッチ・オン時に油圧モータの回転がウインチドラムに伝達され、吊荷が動力によって巻上げ巻下げされる。一方、クラッチ・オフ時には吊荷の自重により、フリーフォール降下できるようになっている。「湿式ディスクブレーキ付きウインチ(以下、湿式ブレーキウインチ)」は、そのクラッチが湿式多板ディスクで構成されていて、フリーフォールブレーキの作用をするウインチのことをいう。

従来のクレーンのウインチ(図2)には、乾式の拡張式ドラムクラッチとバンド式のドラムブレーキ(以下、バンドブレーキ)が装着されていたが、この構造のブレーキにおいては以下の問題があった。

高速動摩擦係数が小さいので、負荷を高速でフリーフォール降下させると制動停止ができなくなる恐れがある。

連続してフリーフォール降下を行うと、ブレーキのオーバーヒート(フェード現象)により必要なブレーキ力が確保できなくなる。

ブレーキライニングが摩耗するので、摩耗粉が周囲に飛散してしまう。

ブレーキライニングの定期的な調整および交換が頻繁に必要なになる。

ウインチのフリーフォール降下は作業能率や省エネルギーの観点では極めて有利であり、特にバケットの位置・運動エネルギーを仕事に変換する作業には必須の機能であるが、バンドブレーキ構造によるフリーフォール作業は好適なものとはいえなかった。

海外ではウインチの湿式ブレーキ化が考えられ、既に



写真1 移動式クレーン(クローラークレーン)  
Photo 1 Mobile crane (Crawler crane)

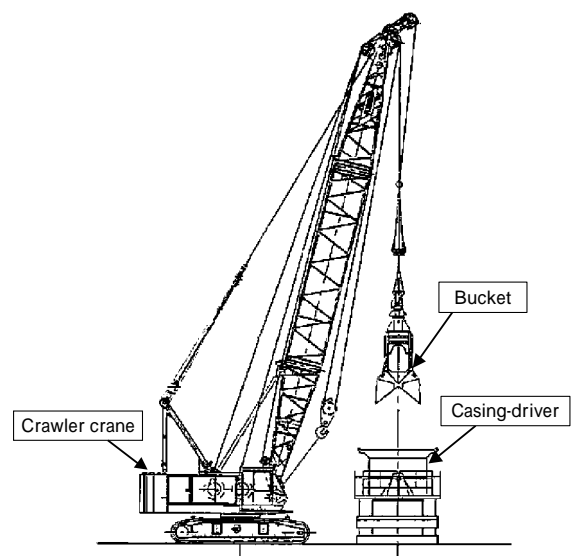


図1 移動式クレーンのバケット作業姿勢  
Fig. 1 Bucket working posture of mobile crane

商品化されているが、吊荷が軽負荷であるときにはフリーフォール速度が遅いことと、ブレーキ操作性がオンオフ的であるという特徴的問題が解決されていなかった

\*コベルコクレーン(株) 開発本部

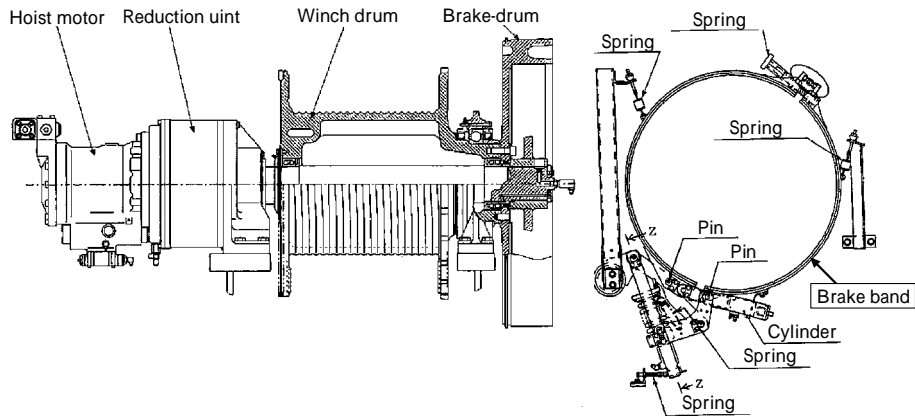


図2 バンド式ドラムブレーキウインチ  
Fig. 2 Winch with drum brake (Band-type)

た。コベルククレーン(株)は、クローラクレーンに搭載するオリジナルの湿式ブレーキウインチを開発することにより、これらの問題を解決することに成功したので、本稿で技術紹介する。

### 1. バンドブレーキと湿式ブレーキの比較

バンドブレーキのブレーキトルク  $T_{BB}$  は式(1)で与えられる。

$$T_{BB} = F_B \times [\exp(\mu_B \times \theta) - 1] \times R_D \quad (N \cdot m) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $F_B$ ：バンド作用力(N)、 $\mu_B$ ：摩擦係数、 $\theta$ ：ブレーキバンドライニング接触角(rad)、 $R_D$ ：ドラム半径(m)である。

バンドブレーキの場合、バンド作用力  $F_B$  によるバンド自体の変形で  $F_B$  が変化することや、 $\mu_B$  および  $\theta$  が製品のばらつきや経時変化・状態変化(温度、摩擦速度)で一定しないことにより、作用力  $F_B$  に比例した安定したブレーキトルクを得ることが難しい。

一方、多板ディスク式ブレーキのブレーキトルク  $T_{BD}$  は式(2)で与えられる。

$$T_{BD} = F_D \times \mu_D \times Z \times R_D \times \eta \quad (N \cdot m) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $F_D$ ：ディスク作用力(N)、 $\mu_D$ ：摩擦係数、 $Z$ ：摩擦面数、 $R_D$ ：ディスク摩擦半径(m)、 $\eta$ ：ディスク効率である。

式(2)からも明らかのように、多板化によって摩擦面数  $Z$  を増やすことができるので、ディスクの摩擦半径  $R_D$ 、すなわちディスクの径を小さくすることが可能である。この特徴を活かして湿式多板ディスクのクラッチ兼フリーフォールブレーキ(以下、ブレーキ)をドラムに内蔵したウインチを開発した。コベルククレーン(株)が商品化<sup>1)</sup>した湿式ブレーキウインチの断面構造図を図3に示す。本ウインチの技術的特長として、以下が挙げられる。

#### ブレーキおよびウインチのコンパクト化

ウインチドラムではなくて、減速機構中(2段遊星減速機構の1段目リングギヤ)に高速ブレーキを接続しているため、低トルク化・小型化が可能である。さらに、遊星減速機構の2段目リングギヤをウインチドラムと一体結合する構造としており、ブレーキと減速機の両方をウインチドラム内にビルトインさせることによって、コ

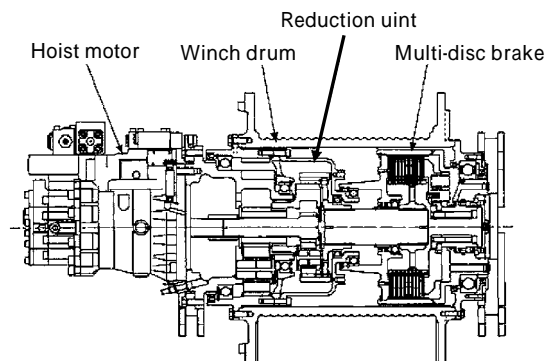


図3 湿式ディスクブレーキ付きウインチ  
Fig. 3 Winch with wet-type multi-disc brake

ンパクトで大容量ブレーキ機能を有するウインチを構成することができる。

#### 安定性と操作性の向上

ブレーキ部品が機械加工部品で構成されるため、製品や組立のばらつきによるブレーキトルクの不安定要因が低減し、調整不要で規定のブレーキトルクが繰返し安定的に得られるようになる。これに加え、湿式化(強制油冷方式によるブレーキ冷却化)によるブレーキのオーバーヒートの克服と高速動摩擦係数の確保により、クレーンオペレータのブレーキ操作に対する疲労を大幅に軽減させるとともに、安全性を大きく向上させることができる。

#### 経済性の向上

ディスク面圧の適正化とそれに応じた冷却システムの構成により、ディスク摩擦材の摩耗を極少化し、メンテナンスフリー化(定期調整整備・交換作業の不要化)を達成できるので、使用ユーザのランニングコストの大幅削減が可能である。

#### 環境性の向上

ブレーキ部の密閉により、わずかに発生するディスク摩耗粉の飛散をゼロ化して対環境性の向上に貢献する。また、雨・風雪・湿気・凍結などの外的環境に対する配慮が必要なく、耐環境性の向上によりユーザの保護防衛負担を大幅に軽減させることができる。

図4に、新旧ウインチを搭載したクレーンの機体構成を示す。比較すると明らかであるが、クレーンの機体構成を変革することができ、以下の効果も得られた。

1クラス上のウインチ搭載で、1クラス下のサイズの

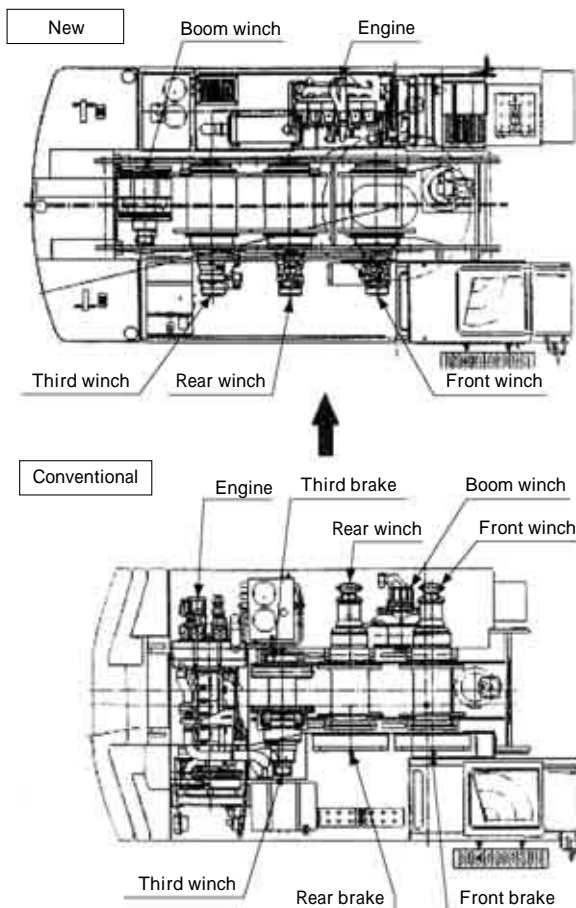


図4 クレーンの機体構成の変革  
Fig. 4 Improvement of crane-component locations

機械による1クラス上の作業を可能とした。ブレーキ部のメンテナンススペースの削除で、ドラムを幅広化でき、巻上ロープの巻取容量(1列当たり)を大幅に増やすことで巻上ロープの長寿命化を達成した。エンジンを左デッキ内に横置きするレイアウトの採用により、主補ウインチと同サイズの大型サードドラムの搭載を可能とし、ユーザの作業効率を大幅に向上させた。

## 2. ウインチ用湿式ブレーキの課題

湿式ブレーキは大型車両などの制動用としては既に採用されており、特別新しい機構ではないが、ウインチ用として良好な性能を発揮させるためには次の課題を克服する必要があった。

固体・流体摩擦抵抗が大きいことにより、吊荷(負荷)が軽い場合に、フリーフォール速度が遅くなってしまい、作業に大きな支障を与える。

フリーフォール時の制動制御性がオンオフ制御的操作感覚で円滑ではなく、速度コントロールが困難となる。

## 3. 湿式ブレーキの回転抵抗の低減

### 3.1 ブレーキ冷却油の低温化(高動粘度化)による流体摩擦抵抗の増加対策

湿式多板ブレーキ冷却油としては、本体クレーンを駆

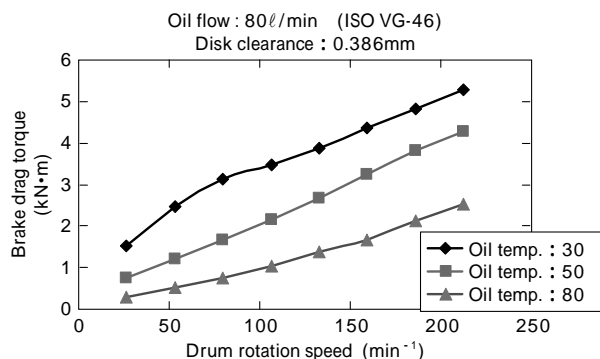


図5 ブレーキ冷却油油温とブレーキ抵抗の関係  
Fig. 5 Brake drag-torque at each oil temperature

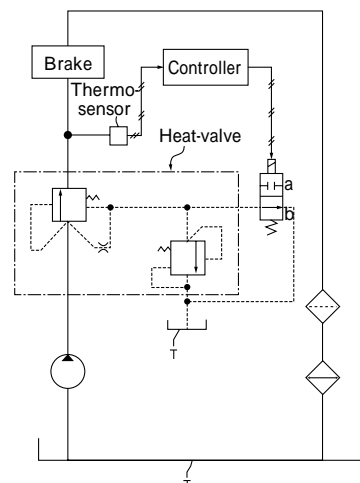


図6 ブレーキ冷却油のオイルヒート装置  
Fig. 6 Heating device for brake cooling oil

動する油圧システムの作動油を利用している。図5に示すように、湿式多板ブレーキ冷却油の動粘度の影響により、油温が低いときにはフリーフォール性を阻害するブレーキ回転抵抗が増大してしまう。ブレーキ冷却油は冷却用として供給するものであるが、必ずしも低温である必要はなく、ブレーキ部の発熱を回収するだけの油量があればよいので、ブレーキ冷却油を適温制御する装置を導入した。作動油が  $P$  の差圧で設定された圧力制御弁を通過する際に、エネルギーの熱変換により  $(\Delta T) = 0.64 \times P$  (MPa) の温度上昇が発生する(作動油の密度を  $850$  (kg/m<sup>3</sup>) とし、エネルギーが音や振動に変換されずに熱だけに交換された場合)。この特性を利用し、圧力制御弁を用いたオイルヒート装置(図6)を考案した<sup>2)</sup>。これにより、冷却油温低温時に装置を作動させて供給冷却油温を上昇させ、冷却油の温度(動粘度)を適正にコントロールするようになった。

### 3.2 固体摩擦抵抗の低減

ブレーキ状態(多板ディスク圧接状態)からブレーキ解除のフリーフォール状態に移行すると、多板ディスクの圧接状態が解除されてスチールプレートとフリクションプレートが分離しようとするが、ブレーキ冷却油が両プレートの間を通過する際の流体力によって多板ディスクがお互いに吸着・接触しようとする。このため、固体摩擦が発生して抵抗が増大し、フリーフォール性が阻害される。さらには、全ての多板ディスクが接触してしまうことにより、流体力による吸着力に加えて、ブレーキ

内圧に比例するディスク圧接方向への押付力<sup>注)</sup>も作用するようになるため、フリーフォール時の内部抵抗が極大化して、フリーフォール性能が大幅に低下するという潜在的な問題があった。

この対策として、フリクションプレート外周部外側のスチールプレート間に環状の圧縮ばね(ウエーブスプリング)を配置した<sup>3)</sup>(図7参照)。これにより、フリクションプレート摩擦面の少なくとも片側にはクリアランスが確保されることになるので、ブレーキ内圧 $P$ に比例するディスク圧接方向への押付力成分( $P \times A_B$ )が解消されるとともに、摩擦材の接触面数が半減して吸着力成分( $P_B \times A_B \times Z$ )も半減するので、摩擦抵抗は大幅に低減することになる。本対策の効果(実験結果)を図8に示す。

### 3.3 クリアランスによる流体摩擦抵抗(粘性抵抗)の低減

一般的に、湿式多板ディスクの流体摩擦抵抗はスチー

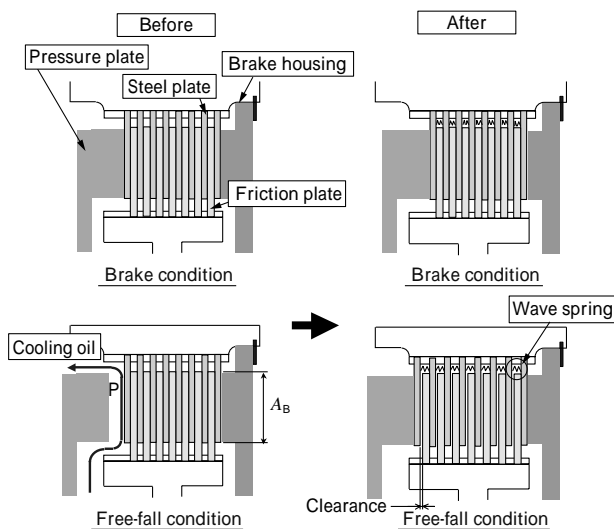


図7 多板ディスクの流体力対策  
Fig. 7 Reduction method of flow-force in multi-disk plates

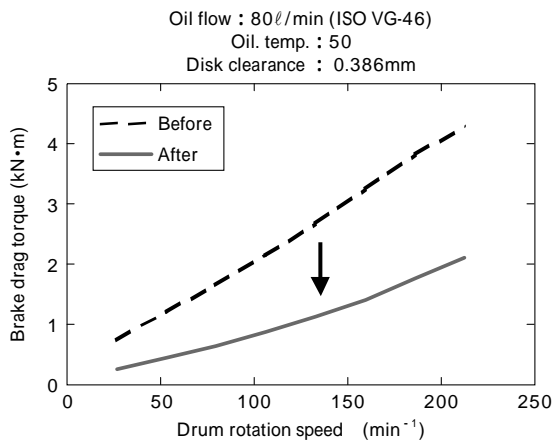


図8 ブレーキの摩擦抵抗低減対策の効果  
Fig. 8 Result of reducing brake friction

脚注) フリクションプレートに構成される油溝を無視すると、ディスク圧接方向への押付力 $F$ は最大値として式(3)で与えられる。

$$F = P_B \times A_B \times Z + P \times A_B \quad (\text{N}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 $P_B$ : 単位面積当たりの吸着力( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $A_B$ : 摩擦材面積( $\text{mm}^2$ ),  $Z$ : 摩擦面数,  $P$ : 内圧(MPa)である。

ルプレートとフリクションプレートのクリアランスを拡大すると低減する。一方、ディスククリアランスを拡大すると、多板ディスクを圧接させるためのブレーキシリンダのストロークも増大し、シリンダのストロークボリュームも増加する。これは、ブレーキ操作応答性の悪化につながるため、やみくもにディスククリアランスを拡大することは望ましくない。本開発のウインチにおいては、ディスククリアランスの拡大による粘性抵抗の低減と、ブレーキ応答性確保のバランスポイントを実験において特定し、多板ディスクのクリアランスを最適化した。図9に多板ディスククリアランスとブレーキ回転抵抗の関係の実験結果を、図10に多板ディスククリアランスとブレーキ回転抵抗および応答時間の関係の実験結果を示す。

### 3.4 フリーフォール増速装置

前述3.1 ~ 3.3の施策を講じても、吊荷負荷が極めて軽い場合(例えば、吊荷無しが多板掛フックのみの降下)には従来のバンドブレーキで得られていたような降下速度は得られない。そこで、低減させることはできても、原理的になくすことのできない連れ回り抵抗を逆に利用することで、吊荷負荷が軽い場合でも高速降下速度を得ることのできる装置(フリーフォール増速装置)を考案した<sup>4),5)</sup>。この装置は、クラッチ・オフとなっているフリーフォール降下中であっても、巻上ウインチ用の油圧モータによる動力降下回転がドラムに伝達可能であることに着目し、「フリーフォール速度」+「動力降下速度」

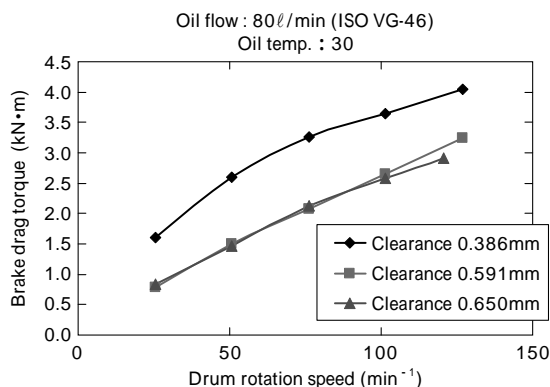


図9 ディスククリアランスとブレーキ抵抗の関係  
Fig. 9 Brake drag-torque for each clearance

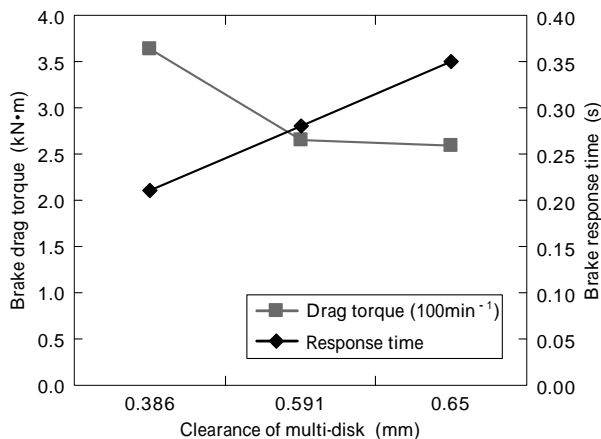


図10 ディスククリアランス別のトルクとブレーキ応答時間  
Fig.10 Brake drag-torque and response for each clearance

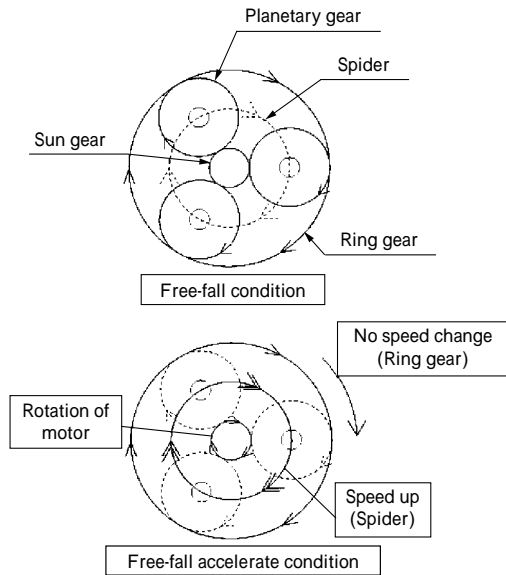


図11 減速機(1段目)の断面模式図 [フリーフォール増速]  
Fig.11 Sectional view of reduction unit (1-st. stage)

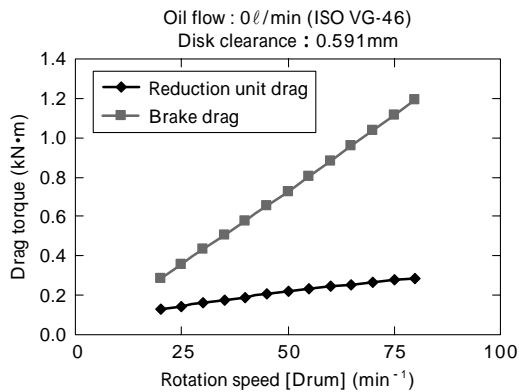


図12 ブレーキと減速機の回転抵抗トルクの違い  
Fig.12 Difference of drag torque between brake and reduction unit

の速度で吊荷を降下可能としたものである。

動力伝達の作用について図11を用いて説明する。図11は本ウインチ減速機部の1段目遊星歯車機構の断面模式図で、上段図は通常の「フリーフォール」回転時を、下段図は「フリーフォール増速」回転時を示す。サンギヤはモータの出力軸に結合されており、「フリーフォール」時には回転せず、「フリーフォール増速」時には巻下方向に回転する。一方、プラネタリギヤのスパイダが2段目遊星歯車機構を介して、ウインチドラムに結合されている。リングギヤはブレーキのフリクションプレートと結合しており、クラッチ・オフのフリーフォール回転時にはリングギヤの拘束が解かれているので、プラネタリギヤが自転しながら公転している。この状態で、モータを巻下回転させてサンギヤを回転させると、実験結果(図12)のとおり、ブレーキの回転抵抗よりも減速機の回転抵抗の方がかなり小さいことから、モータの動力回転はブレーキ部の空転回転を増すのではなく、減速機を介してドラムの回転側にほぼ全て伝達される。その結果、プラネタリギヤの公転速度がサンギヤの回転分だけ増速され、ウインチドラムの回転速度に連動するスパイダ回転速度が増速するので、ウインチドラムの巻下速度が増加する。

## 4. フリーフォール制動制御性の確保

### 4.1 ディスク使用面圧の条件の適正化

コベルコクレーン(株)が採用した摩擦材の場合、図13に示すようにフリーフォール起動前に付加されるディスク最大面圧が大きいほど、ディスクの静・動摩擦係数(摩擦係数)の差が大きくなる特性をもっていることを実験的に把握した。フリーフォール制動制御性の観点からは、起動時と停止時で操作量の差が大きいことは好ましくなく、特にフリーフォール起動時に静・動摩擦力の差が大きいと、動き始めた直後に制動力が大きく低下するので、加速が急激となって速度制御不能に陥ってしまう(オンオフ的なブレーキ操作性能)。ディスクの使用面圧は小さく設定するのが望ましいことがわかったが、ブレーキをコンパクトに構成するためには、使用面圧を大きく設定することが効果的であるので、ブレーキをコンパクトに構成可能な範囲内で、使用面圧を可能な限り低く設定することにより、良好なフリーフォール制動制御性を確保した。

### 4.2 湿式摩擦材 $\mu - V$ 特性の適正化

一般的に、車両などの制動用に使用されている湿式摩擦材と冷却油(潤滑油)の  $\mu - V$  特性は、正勾配であるほど耐ハンチング性に優れ、制動力を可変制御するときの安定性に優れるとされている。よって、図14(作動油B)に示すように多くの摩擦調整剤(以下、FM 剤と称す)を添加した冷却油によって正勾配  $\mu - V$  特性を得ることが多いが、FM 剤が適正量以上に添加されていると回転速度ゼロを極限として見た場合には摩擦係数が大幅に低

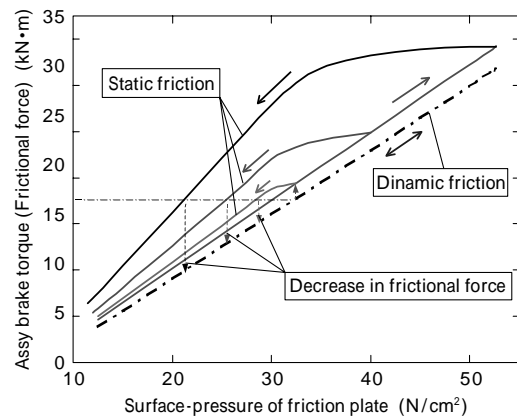


図13 摩擦材の摩擦特性ヒステリシス  
Fig.13 Hysteresis characteristic of friction plate

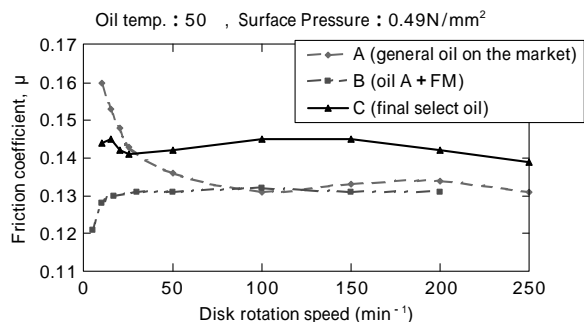


図14 作動油によるディスク  $\mu - V$  特性の違い  
Fig.14 Disk  $\mu - V$  curve for each oil

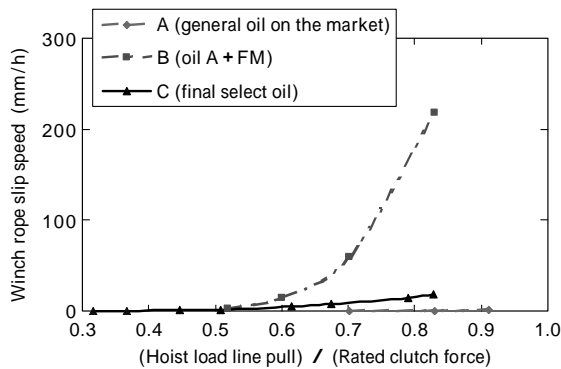


図15 作動油によるウインチスリップ速度  
Fig.15 Winch rope slip speed for each oil

下し、場合によってはミクロ的に完全静止制動が作用しないこともある(図15参照)。よって、ウインチブレーキ(クラッチ)用途の場合、吊荷が完全静止できない問題が発生し、正勾配 $\mu - V$ 特性は必ずしも適正な特性ではない。

一方、前述のように、ブレーキの冷却油として本体クレーンを駆動する油圧システムの作動油を利用するのが経済的であるが、一般的な市販作動油を冷却油として使用すると図14(作動油A)に示されるように極端な負勾配 $\mu - V$ 特性になりやすく、そのままではフリーフォール起動時に、動き始めた後の $\mu$ の低下によって、加速が急激となるので速度制御不能に陥ってしまう(オンオフ的なブレーキ操作性能)。

従って、ウインチブレーキ用途の場合、負勾配でもなく正勾配でもない、ほぼフラットな $\mu - V$ 特性が制動制御性と完全静止制動力の両面から適正となる。実験の結果、適切なFM剤が適正量添加された作動油を選択することによって、図14(作動油C)のような $\mu - V$ 特性を得ることができる。本開発ウインチでは、油圧システム作動油に適切なFM剤添加をほどこすことにより、良好なフリーフォール制動制御性を確保することができた。

むすび=クローラクレーン用に、フリーフォールブレーキを湿式多板ディスクで構成した本格的な「湿式ディスクブレーキ付きウインチ」を国内で初めて開発・商品化し、ユーザの好評を得た。現在では、一部の機種を除き、能力別にフルラインナップ化している。

ウインチ技術はクレーンにとって基幹的技術であり、今後も安全性、操作性および経済性が更に優れたウインチの開発・商品化に取り組んでいく所存である。

#### 参考文献

- 1) 山縣克己ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.49, No.2(1999) p.87.
- 2) 特許：第3644372号.
- 3) 公開特許：2000-16771(2005-53704).
- 4) 特許：第3589051号.
- 5) 公開特許：2002-37588(2005-47717).