

鉄鋼大型駆動軸用油圧拡張式トルクリミッタの開発

Development of Hydraulic Expansion Type Torque Limiter for Steel Mill Large-Size Driveshafts

永山彰英 A. NAGAYAMA 宮地武志 T. MIYACHI

An effective method of preventing machine failure loss due to accidents during rolling operation and protecting surrounding equipments at such times is to install an over-loading prevent device (torque limiter) in the steel rolling mill. A torque limiter for rolling mills requires such performance features as high accuracy, high durability, high rotational performance before/after torque release operation, and excellent maintenance feature. JTEKT has developed a hydraulic expansion type torque limiter to satisfy these requirements by making use of its experience as a leading manufacturer of driveshafts.

Key Words: driveshaft, rolling mill, universal joint, torque limiter, safeset, hydraulic, maintenance

1. はじめに

十字軸型ユニバーサルジョイント（以下 UJ と記す）は、自動車プロペラシャフトをはじめとして、あらゆる産業機械の軸継手に使用されている。その中でも、圧延機ロール駆動用 UJ は、負荷されるトルクが非常に大きく、設置スペースの関係よりサイズも制限されるため、負荷能力に対して高負荷領域で使用される場合が多い。

圧延機の構造を図 1 に示す。圧延機の特性上、操業中の過大トルクを完全に防ぐことはできない。また操業中に圧延材の多重かみ込みが発生するとロールの回転急停止によりトルク伝達系に過大な慣性モーメントが作用して、UJ を含めた設備の破損を引き起こし、最悪の場合は圧延設備全体の操業遅延に至る。

当社は、製鉄機械用 UJ の高容量化に積極的に取り組んできた結果、疲労限界トルクの向上に関しては、多大

な成果を得ることができた。（詳細は参考文献 2）に記載。）一方、瞬間的な過大トルクに対して強度向上を図るためには、UJ の静的負荷容量をさらに向上させる必要があるが、静的負荷容量は UJ の設計諸元よりも材料そのものの強度に左右されることが多いため、さらなる向上は困難である。

瞬間的な過大トルクが発生した場合、UJ に作用するトルク伝達を瞬時に開放することにより、圧延設備を保護する方法がある。そこで、当社はこの方法に着目し、高精度で信頼性の高いトルクリミッタの開発に取り組んだ。また、最近では顧客の保全費用の削減、メンテナンス工数削減に対する要求が増えており、さらに作業性の良い構造も併せて検討課題として開発に着手し（図 2 に示す）、信頼性とメンテナンス性を両立させたトルクリミッタを開発した。

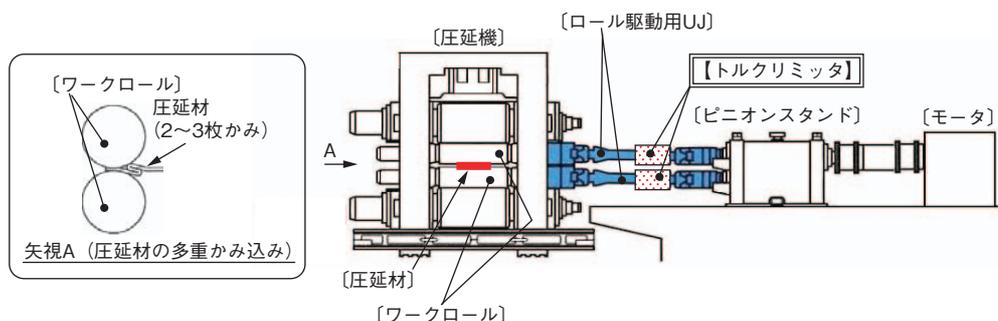


図 1 圧延機のレイアウトとトルクリミッタの設置位置

Layout of rolling mill and installation position of over-loading prevention device

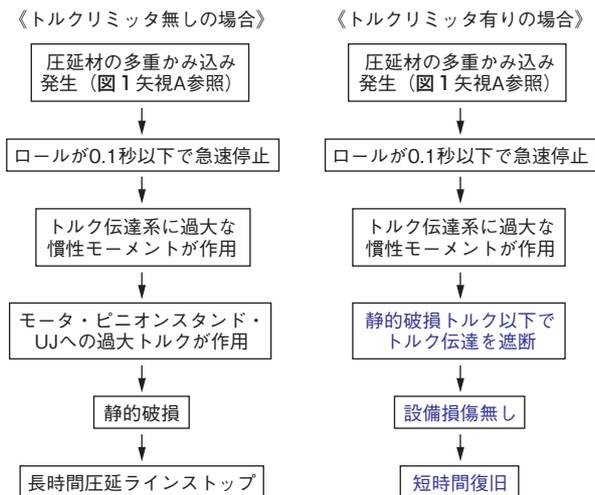


図2 トルクリミッタの設置有無による比較
Effect of torque limiter installation

2. 油圧拡張式トルクリミッタの開発

2.1 従来技術 (シャープピン式トルクリミッタ)

図3に一般的によく使用されているシャープピン式トルクリミッタの構造および作動原理を示す。

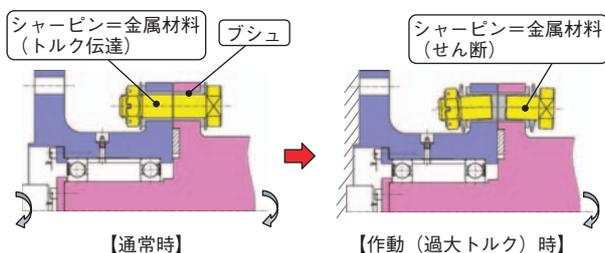


図3 シャープピン式トルクリミッタの構造および作動原理

Structure and operating principle of shear pin

シャープピン式トルクリミッタはピン（金属材料）のせん断によりトルク開放を行うものである。ただし、せん断破壊は材料強度に支配されるため、作動時のせん断トルクのばらつきは大きい。また、メンテナンス面では、丸棒の応力集中部に金属疲労が蓄積されるので、定期的なシャープピンの交換が必要である。さらに作動後の復旧時にはシャープピン組込み部の手入れなどが必要でありメンテナンスに多大な時間を要する。今回開発した油圧拡張式トルクリミッタの開発に際しては、作動性能・メンテナンス面、復旧時の作業工数の改善を図ることとした。

2.2 開発の目標

近年、圧延機に求められる機能としては、圧延効率の

向上（同一 UJ サイズにおけるトルクアップ、稼働率向上）と安定操業（操業トラブルの早期復旧）がある。この要求機能に対して油圧拡張式トルクリミッタには下記の機能を盛り込み開発した。

2.2.1 作動精度の向上

近年、圧延トルクが増大傾向にあり、それに対応するため各種新技術の採用により、UJ のサイズを上げることなく、疲労強度の向上を図ってきた。

一方、UJ の静的強度については材料強度に支配されやすく、疲労強度に比べて大幅に向上させることが難しい。そのため、UJ の疲労強度が静的強度に近づくことになる。また、トルクリミッタは UJ の疲労強度以上、静的強度以下で設定する必要があるため、狭い範囲でのトルク設定、高精度および高信頼性を有することが必要となる。（図4参照）

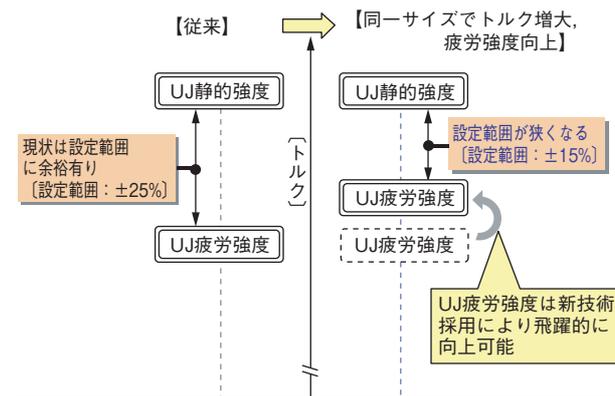


図4 トルクリミッタに求められる性能
Required performance for torque limiter

従来の圧延条件であれば、±25%程度でのトルク設定が可能であったが、上記理由により、±15%以内で設定することが必要である。これにより当社では今後のさらなる顧客要求を考慮して作動精度±10%以内を目標として開発した。

2.2.2 耐久性の向上

トルクリミッタはトラブル発生時に駆動軸を含めた圧延設備を保護し、すみやかに復旧させるためのものである。しかし、トラブル発生の都度トルクリミッタそのものが損傷を受け、長期使用に耐えられない事態が発生すると、圧延設備全体の耐久性を損なうことになる。したがって、トルクリミッタは使用回数に対して、十分な耐久性を有する必要がある。当社では特殊表面処理技術を

用いることにより、トルクリミッタ作動時の摩耗の抑制を図った。

2.2.3 回転性能の向上

トルクリミッタは作動時に相対運動できるように支持部に転がり軸受を組み込ませることが一般的である。この軸受は通常、内輪・外輪が相対回転せず、トルクリミッタの作動時（過大負荷時）に急激に相対回転することになる。この急加速時の軸受回転性能と回転中の支持剛性を確保するために、軸受メーカーとしての種々の検討を行った。

2.2.4 メンテナンス性の向上

設備保全に関しては作業工数削減の要求が強くなってきており、復旧作業工数、点検工数の削減は顧客にとってメリットが大きい。従来のシャープピン式トルクリミッタに比べ、復旧作業の容易さや部品の定期交換が不要となる構造を考え、さらに長期間使用後の各部の点検やメンテナンスの容易さも考慮した。

2.3 基本構造

第 2.2 節で述べた必要機能を備えた油圧拡張式トルクリミッタの構造を図 5 に示す。基本構造として油圧拡張室を設けた円筒穴フランジと円筒軸フランジを結合させ、その両端を 2 個の軸受で支持している。

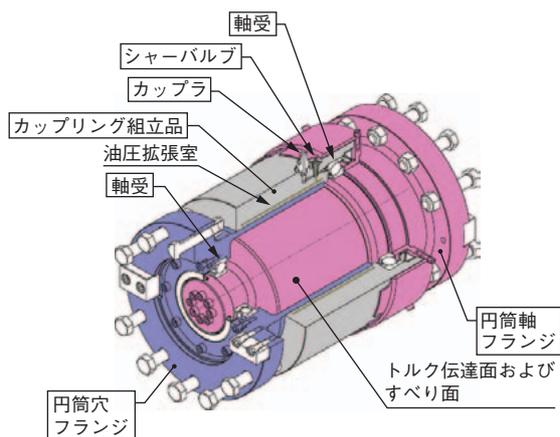


図 5 油圧拡張式トルクリミッタ構造

Structure of hydraulic expansion type torque limiter

油圧拡張式トルクリミッタの作動原理は、油圧拡張室へ油を封入および開放することにより、円筒穴フランジと円筒軸フランジの接触面の静摩擦力を変化させて伝達トルクを制御するものである。

その作動原理を図 6 に示す。

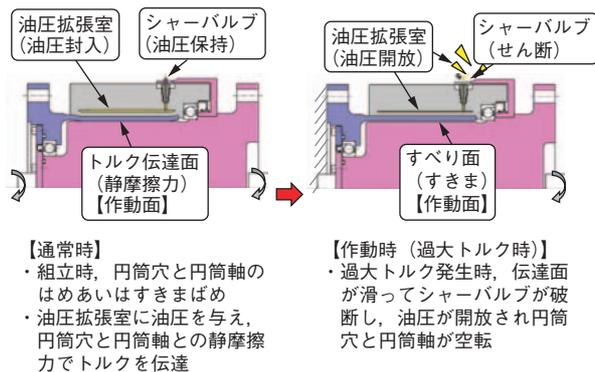


図 6 油圧拡張式トルクリミッタの作動原理図

Operating principle diagram of hydraulic expansion type torque limiter

3. 油圧拡張式トルクリミッタの性能

3.1 作動トルクの安定化への取組み

開発品は油圧拡張室内部へ供給した油による油圧値で作動トルク（静摩擦力）を設定するため、作動面（トルク伝達面もしくはすべり面）の静摩擦力の安定化および管理が重要となる。特に、油圧拡張室内部の油圧値で作動トルク（静摩擦力）を管理するため、三次元 FEM 解析によるすべり面の面圧解析の確立に取り組んだ。また、静摩擦力の安定化については作動回数毎のばらつきを軽減するため、作動面の表面仕様の最適化に取り組んだ。

3.2 作動面の面圧解析

作動トルク（静摩擦力）を把握するためには、油圧拡張室内部の圧力値と構造データから作動面の面圧分布の解析を確立させる必要がある。今回、三次元モデルによる独自の解析方法を用いて下記 1)、2) 項の解析を行い、ミニサンプルによる試験結果との整合性を確認した。そのミニサンプルにおける三次元の解析モデルを図 7 に示し、台上試験機を図 8 に示す。（ミニサンプルサイズ：外径 $\phi 190\text{mm}$ 、全長 265mm）



図 7 三次元解析モデル
3-D analysis model

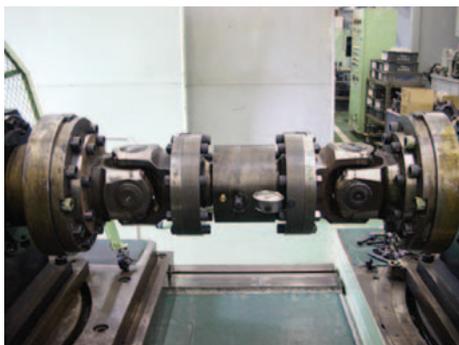


図8 台上試験機
Bench test machine

1) 油圧による油圧拡張室の内外径の変位量

ミニサンプルを用いて油圧による油圧拡張室の内外径の変位量を確認した。図9に示すとおり、解析結果と実測値が一致している。

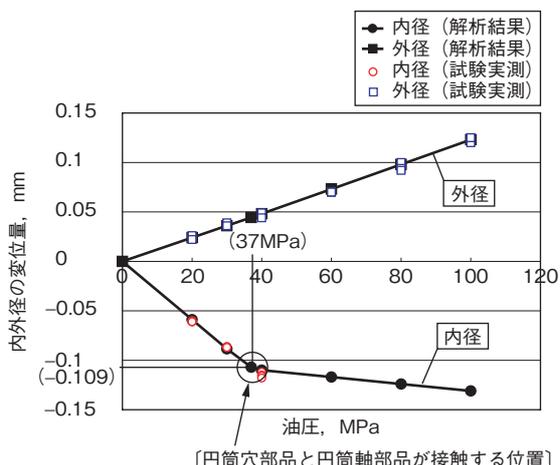


図9 油圧拡張室の内外径の変位量

ID/OD displacement in hydraulic expansion chamber

2) 作動面の面圧負荷状況

ミニサンプルにおける解析上の面圧分布とサンプル油圧負荷後の接触幅を調査した。図10に示す解析結果と図11に示す測定結果が一致している。

上記の結果より、三次元モデルによる解析結果は、実機に対して、十分整合性があることを確認し、実機設計をする際に十分実用性があることを確認した。

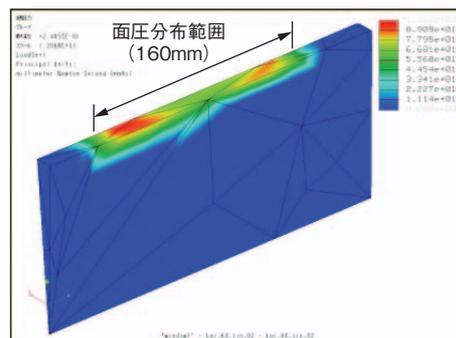
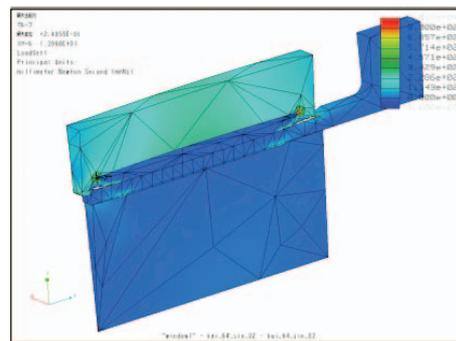


図10 作動面の面圧分布の解析結果

Results of operating surface pressure distribution analysis

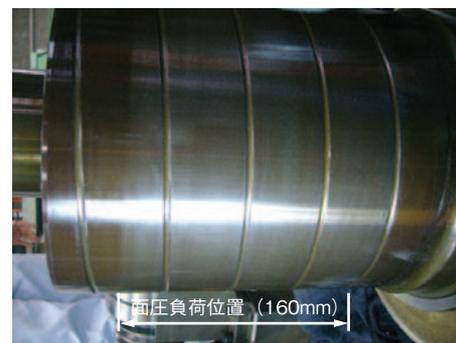


図11 分解後の負荷作動面 (円筒軸)

Loaded surface after disassembling (cylinder shaft)

3.3 作動面の表面仕様

3.3.1 作動トルクの安定性

作動トルク (静摩擦力) の安定は本製品にとって最も重要な性能である。特に作動回数は境界潤滑状態で使用される開発品では作動トルクのばらつきに大きく影響する要因である。当社では、作動面に特殊な表面処理 (当社独自開発) を実施し、作動前後での表面状態の安定化を図っている。

ミニサンプルにおける面圧分布解析より求めた作動トルクに対し、実測作動トルク値をプロットした結果を図12に示す。実測作動トルクのばらつきは各油圧で土

10% 以内であり、実用上許容されるレベルである。また各油圧に対する実測値は解析より求めた値（理論線）と同じ傾向であり、第 3.2 節で述べた三次元 FEM 解析結果との整合性も確認できた。

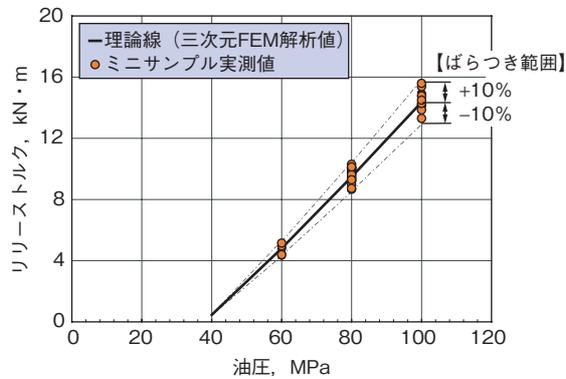
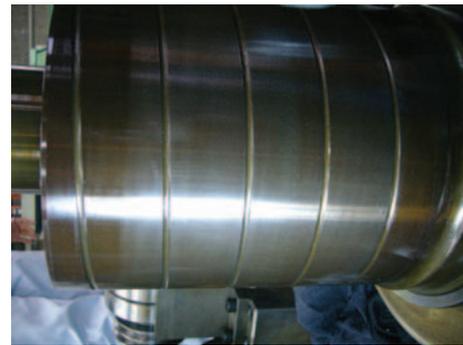


図12 油圧とリリーストルクの関係
Relation between oil pressure and release torque

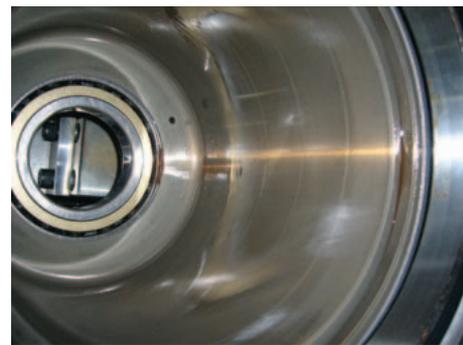
3.3.2 作動面の耐久性評価

油圧負荷を与えた状態で、150 回滑らせた作動面の状態を図13に示す。作動面の調査結果の状況は以下のとおりである。

- ・ 円筒穴、円筒軸の作動面にはともにかじり、傷もなく良好である。
- ・ 円筒穴、円筒軸の作動面には摩耗も認められない。



円筒軸の外観



円筒穴の外観

図13 耐久性評価後の作動面の外観
Appearance of loaded surface after durability evaluation

次に、各負荷回数における表面粗さの測定結果を図14に示す。粗さ測定結果においても大きな変化がないことが分かることから、高面圧に対し作動面は十分な耐久性があると判断できる。

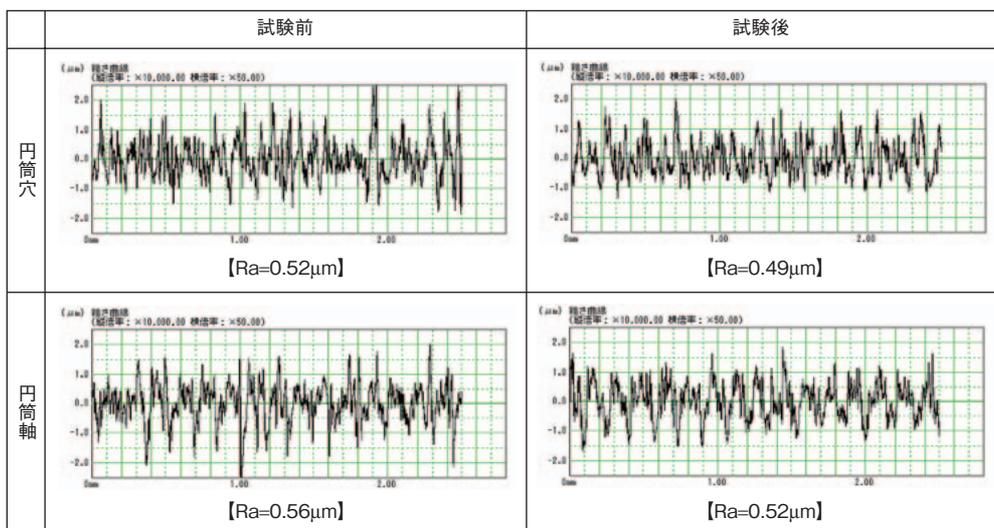


図14 作動面の粗さ変化
Change of operating surface roughness

表1 必要機能に対する他評価項目と評価結果
Other required evaluation items and results

評価項目	検討内容	結果
油圧保持能力	・油圧拡張室の強度 ・シャールバルブの形状・能力	・三次元 FEM 解析により評価可能 ・高面圧を保持できる形状を確立
油圧開放性能	・油圧開放時間短縮化	・流体 FEM 解析により油圧開放時間が短縮できる設計が可能
回転性能	油圧負荷時 (一体回転)	・シール性能 ・遠心力による影響
	油圧開放時 (相対回転)	・軸受の急作動評価 ・シール性能

3.4 実機相当品の性能評価

前節までの理論解析とミニサンプル評価に基づき、実機相当品（プロトタイプサンプル）を製作し、実機使用条件を考慮した評価試験を実施した。その結果を以下に示す。（プロトタイプサンプルサイズ：外径 φ350mm，全長 520mm）

1) 作動トルク

プロトタイプサンプルに対する三次元 FEM 面圧解析結果と作動トルク評価結果を図15に示す。作動性能値に対し実機でのばらつきは± 10% 以内を満足している。なお、上記作動性能値は製品化へ移行した際、出荷記録値として顧客に提示するものである。

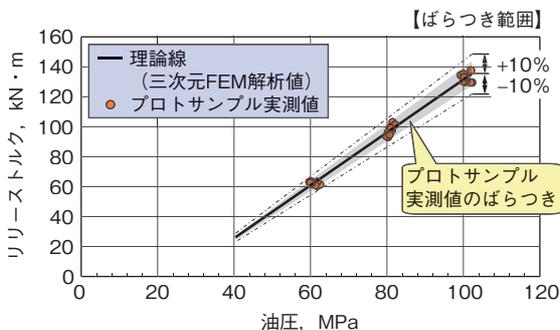


図15 油圧とリリーストルクの関係

Relation between oil pressure and release torque

2) その他の評価項目

次に、本製品に求められる機能は作動トルクの安定化の他に表1に示す機能も必要であり、これらについても実機を想定した評価を実施した。この結果も併せて表1に示す。

4. おわりに

以上、油圧拡張式トルクリミッタは圧延設備の過負荷防止装置として、社内評価において目標性能を満足した。また、作動精度、耐久性、回転性能およびメンテナンス性において、従来製品よりも大幅に性能向上させることができた。本開発品を適切に使用することは、圧延設備を安定操業させるために非常に有効な手段であり、顧客に大きく貢献できるものと考えている。

参考文献

- 1) 鮫島喜栄智: Koyo Engineering Journal, no. 163(2003) 16.
- 2) 永山彰英: Koyo Engineering Journal, no. 166(2004) 7.

筆者



永山彰英*

A. NAGAYAMA



宮地武志*

T. MIYACHI

* 軸受・駆動事業本部 産業機器技術部