論 文

苛酷な坑井条件下における油井管ねじ継手の使用性能と
その最適メークアップ方法

津留 英司*・矢崎 陽一**・丸山 和士***
井之脇 隆一****・栃川 哲朗****

(Received June 15, 1995 ; accepted July 26, 1996)

Performance properties of tubular connection under hostile well conditions
and optimum make-up procedure

Eiji Tsuru, Yoichi Yazaki, Kazushi Maruyama, Ryuichi Inowaki and Tetsuro Tochikawa

Abstract : With hostile drilling environment, multi-performance has been required for tubular connections in addition to conventional performance, so premium connection with metal-to-metal seal has become popular. This paper deals with the performance properties of tubular connections used in typical oil and gas wells, and describes the appropriate make-up operation and the torque resistance of the connections.

The make-up torque was measured in the laboratory under the simulated field operations. The connection performance was evaluated using the full-size combined loading tester under the simulated conditions of hostile wells such as horizontal wells, sour service wells, and steam injection wells.

As for the results of the test, the make-up torque increases when the grease quantity is small and the temperature is low. In wells, the torque resistance of the connection improves under axial loading, pressurizing, and bending. The joint strength of Round connection is lowered by bending, though that of Buttress and premium connection is not degraded. However, the joint strength decreases in direct proportion to the wear area ratio of the pipe body. Bending moment is not more detrimental to sealing integrity than the axial loading. In sour service wells, there are some possibilities of SSC occurrence at the coupling, so the casing design is required to control the hoop stress on the coupling less than the threshold stress. In steam injection wells, the casing pipe is deformed by the excessive axial load due to the thermal expansion and only the premium connection can maintain the gas tightness.

In conclusion, the make-up torque can be stabilized by solving the effects of operation factors, and the connection performance described in this paper may be effective for planning a more economical and reliable casing design in oil wells. Dope of the sufficient compound grease, avoidance of the low temperature make-up, and usage of the weight compensator are recommended to avert some make-up troubles.

Key words : tubular connection, premium joint, make-up, thread compound grease, horizontal well, connection performance

* 新日本製鐵(株)技術開発本部鉄鋼研究所 Steel Research Laboratories, Nippon Steel Corp.

** 新日本製鐵(株) (現在、(株)日鉄技術情報センター) Nippon Steel Corp. (present : Japan Technical Information Service)

*** 新日本製鐵(株)技術開発本部八幡技術研究部 Yawata R&D Laboratories, Nippon Steel Corp.

**** 石油公団石油開発技術センター Technology Research Center, Japan National Oil Corporation

1. はじめに

油井、ガス井掘削に使用される油井管は通常、ねじ継手で締結される。これらの油井管ねじ継手には API (米国石油協会) で規格化されているバットレス継手、ラウンド継手、エキストリームラインケーシング継手に加え、製造側が独自に供給するプレミアムジョイントと呼ばれる特殊ねじ継手がある (石油技術協会; 1992)。油井管ねじ継手にはパイプ締結時にメークアップ、ブレイクアウトが繰り返されたときの耐焼付き性に始まり、ケーシング降下時の引張圧縮強度、振り強度、曲げ抵抗、生産時にはさらにシール性、耐サワー性などが要求される。これらの継手性能を実油井の環境にできるだけ即して評価する方法に API Recommended Practice 5C5 がある。また、石油会社の中には各油井特有の性能、例えば水平坑井における曲げ、振りの影響、蒸気注入井における温度の影響、降伏後の性能などをさらに追求することもしばしばである。

本論文では継手性能を研究してきた立場から各油井環境下において問題となるねじ継手の性能を油井環境を再現できる実管性能評価試験機、および数値解析シミュレーションによって解析すると同時に、継手使用性能と密接な関係のあるメークアップトルクへの操業因子の影響についても述べる。

2. 油井環境とそのシミュレーション方法

2.1 継手メークアップ

Fig. 1 に継手のメークアップに使用したパワートングとその実験方法の概略を示す。パワートングは実フィールドで使用されているものと同様のコンピュータ制御システムを有し、メークアップトルクを各社が推奨するトルク範囲内に制御できる。ケーシング自荷重のメークアップトルク挙動に及ぼす影響を研究するため、5 kN のデッドウェイトをケーシング直上に配し、メークアップ中に継手に負荷される総荷重 (デッドウェイト、トンゲ荷重、ウェイトコンペンセーターによる補正荷重) をロードセルにより測定した。メークアップトルクに及ぼす温度の影響を解析するためには継手部をドライアイスで冷却し、温度を熱電対で測定した。

メークアップ特性に影響を与えるねじ界面のコンパウンドグリス圧力はカップリングに取り付けた圧力変換器により測定した (Tsuru, 1990)。すべての試験に対してグリスは API BUL 5A2 に示されるモディファイド スレッド コンパウンドを使用した。

2.2 油井環境の実験シミュレーション

本論文では代表的な 4 つの油井環境に対して実験的に

Fig. 1 Power tong

シミュレーションを行い、継手性能を評価した。

2.2.1 水平坑井

水平坑井では継手は軸力、内外圧に加え、特に大きな曲げモーメントを被る。増角率は 5 deg/100 ft 程度から、ショートラディアスの場合、40 deg/100 ft 以上に達する。また、掘削方法によってはドリルパイプとの摩擦により、継手内面は摩耗する。さらにケーシング降下作業中、あるいはセメンティング作業時にはケーシングを回転させる必要もあり、ねじ継手にもトルクが伝達される。従来、曲げ、摩耗が管体性能に及ぼす影響については研究されてきたが (Song, 1992; Kuriyama, 1992)、曲げ、摩耗、振りが継手性能に及ぼす影響については明らかになっていないのが現状であった。

そこで Fig. 2 に示す装置では軸力、ガス内圧、曲げ、振りを同時に加えることでその相互作用が継手強度、シール性、振り抵抗に及ぼす影響について解析した。

2.2.2 サワー井

サワー井では硫化水素を含む腐食性流体に継手部がさらされた場合、応力状態によっては SSC (sulfide stress cracking) と呼ばれる水素脆化割れが起こる。これを防止するためには水素感受性の低い耐サワー材料が使用される。さらに SSC は応力起因でもあるため、継手部の応力は限界応力 (σ_{th}) 以下に制御される必要がある。そこで主な破断形態である内圧起因による SSC を評価するために NACE TM 01-77 に規定された

Fig. 2 Combined loading tester

Fig. 3 Gas leak tester with quenching system

試験液 (NaCl : 5%, CH_3COOH : 0.5%, H_2S : 0.1 MPa, 25°C) にメークアップ後、内圧を負荷した継手サンプルを浸漬した。

2.2.3 蒸気注入井

蒸気注入井ではケーシングは最高で約350°Cもの高温にさらされ、なおかつ降伏点を超える熱応力が繰り返し発生するため、継手性能、特に継手のシール性は著しく劣化する。熱応力は材料特性に依存するため、蒸気注入井環境をシミュレーションするには実管で熱応力を発生する機能を評価試験機に付与する必要がある。そこで Fig. 2 に示した複合荷重試験機に昇温、冷却機能、および熱膨張による軸方向変位制御機能を追加した (Maruyama, 1990)。本装置により、蒸気注入時に発生すると考えられる荷重履歴が得られ、同時にこのような荷重下での継手ガスシール性、継手強度を評価することができる。

Fig. 4 Finite element model of premium joint

2.2.4 アシダイジング適用坑井

原油、ガスの回収効率を向上させるために塩酸などを注入する (アシダイジング) 油井では酸により継手部のピン側が優先的に冷却されるため、シール性の劣化が懸念される。このような油井をシミュレーションするためには実験装置の継手加熱冷却能力が十分高い必要がある。Fig. 3 には係る油井をシミュレーションできる継手ガスリーク試験機を示す。継手には軸力と窒素ガス内圧を加えることができ、継手外表面からは熱媒体油により加熱し、内面からはガス圧中に塩酸などの代わりに高压冷却水をスプレーすることで継手のガスシール性を評価した。

2.3 ねじ継手の数値解析モデル

継手性能を定量的に評価する手段の1つとして有限要素法 (FEA) による応力解析が有効である。Fig. 4 に金属シール部を有したプレミアムジョイントの代表モデルを示す。本モデルではピンとカップリングのメークアップを接触問題として扱い、軸力、内圧、曲げ、ねじ界面グリス圧、温度を負荷し、応力 (含む熱応力)、面圧、トルク抵抗を予測した。材料特性としては実際に即した応力-歪み曲線を与えることによる弾塑性解析、クリープ曲線から得られる時間依存の応力リラクゼーション解析を行った。

本論文で FEA でシール性を評価する場合は、

$$P_{ea} = \int p(l) dl \quad (1)$$

$$G_f = P_{ea}/P_i \quad (2)$$

というガスケットファクター、 G_f で評価した。ここで $p(l)$ はシール面圧分布、 l はシール長さ、 P_{ea} は積分面

圧, P_i は内圧である。ねじ界面のトルクは

$$T_i = \sum \mu r_n f_n \quad (3)$$

で計算された。ここで μ は摩擦係数 (0.09), r_n は接触点までの半径, f_n は接触反力, T_i はトルクを示す。

3. 結果および考察

3.1 メークアップ作業因子が継手トルク特性に及ぼす影響

API 継手, プレミアムジョイントともフィールドでメークアップされるとき, 例外なくトルク値, またはメークアップ量を管理しなければならない。これはシールに必要な最小限の面圧を確保し, なおかつ, 焼付き, 過度な応力を発生させない許容最大面圧を維持するために必要な作業である。ここでは特にプレミアムジョイントについて言及すると, プレミアムジョイントのトルク-ターン曲線は Fig. 5 に示すようにショルダーに銜接後 (このときのトルクをショルダートルク, T_s と呼ぶ), 急速に立ち上がり最終トルク, T_F に至る。両トルクの差をショルダー吸収トルク, ΔT と呼び,

$$\Delta T = T_F - T_s \quad (4)$$

で表される。汎用のプレミアムジョイントはいずれも同様の傾向を示す。プレミアムジョイントにおいて最終トルクを管理することはショルダー銜接を確認し, 適切なショルダー吸収トルクを得ることであり, その技術的意味はシール面圧を適切に制御することである。ここではこのショルダートルクとショルダー吸収トルクが想定したフィールド作業環境に及ぼす影響を受けるかについて検討した。

3.1.1 メークアップトルクに及ぼす作業因子

Fig. 6 にショルダートルクに及ぼすケーシング自荷重の影響について示す。ここで自荷重については 2.1 節に述べた方法に従った。ショルダートルクの平均値, $\bar{x}$ には自荷重による変化は観察されなかったが, 母分散, v については 5% 有意水準で明らかに有意差があった。こ

Fig. 5 Torque vs. turn curve for premium joint

れより, フィールドにおける縦型メークアップで自荷重が適切に制御されなかった場合, 製造工場における横型メークアップに比べ, ショルダートルクがばらつく傾向にあると考えられる。したがって, フィールドメークアップにおいてショルダーへの銜接不良が頻発する場合, 適切な荷重補正により回避できる可能性がある。

Fig. 7 にショルダートルクに及ぼすコンパウンドグリス量の影響について示す。同時に縦軸にはメークアップ後押し出された余分なグリス量を合わせて示す。メークアップ前に継手に塗布したグリス量もショルダートルクを左右する重要な要因であることが分かる。グリス量が不足するとショルダートルクは上昇し, 5-1/2" サイズでは 30 g 以上のグリス塗布で安定する。押し出されたグリス量から判断しても 30-40 g が適量と判断できる。他サイズの適量はねじ界面表面積に比例して増減すると推定できる。

Fig. 8 にショルダートルクに及ぼすメークアップ温度の影響について示す。温度が 10°C より下がるとショルダートルクは上昇し, グリス量が不足するとさらに相乗してトルクが上昇することが分かる。トルクの上昇は低温によるコンパウンドグリスの粘性増加によるものと考えられる。

Fig. 9 にバットレス継手を -20°C と 10°C でメークアップしたときのトルク-ターン曲線を示す。毎回のメークアップは位置制御とし, トライアングルベースまで締め込んだ。バットレス継手のトルク-ターン曲線の特徴として, メークアップ前半では低温時のトルクの方が高く, 後半では常温時のトルクが高くなり, 最終的にはプレミアムジョイントとは反対に温度が低いほど最終トルクは低くなる。この理由として, 前半ではコンパウンド

Fig. 6 Variance of shoulder torque under axial load

Fig. 7 Effect of grease quantity on shoulder torque

Fig. 8 Effect of temperature on shoulder torque

Fig. 9 Torque vs. turn curve for buttress joint

グリスによる液体潤滑が支配的となり、低温下ではグリス粘性抵抗の増加で常温時よりもトルクが高くなると考

Fig. 10 Effect of make-up torque on contact pressure

えられる。低温下のグリスはネジ外に逃げにくくなるため、後半ではメークアップの進行に伴い、ネジ界面グリス圧力も常温時以上に増加する。このため、低温下ではネジ面同士が直接接触する固体潤滑開始時期が遅れ、常温時とのトルク逆転現象が起起こると考えられる。トルク曲線の屈曲点を境に前半が流体潤滑、後半が固体潤滑が支配的に作用していると推定できる。以上からパットレス継手をトルク制御によってメークアップする場合は極低温では常温に比べて過度な応力が発生する懸念がある。

したがって、極低温でのメークアップ作業ではグリス温度、環境温度に留意する必要がある。

3.1.2 メークアップトルクが継手性能に与える影響

ここではショルダー吸収トルクを適切に制御することの技術的背景をFEAによる解析結果で示す。Fig. 10にEq. (1)で得られるシール面圧とショルダー吸収トルクの関係を示す。解析は図中に示すシール形状の異なった2種類の代表的なプレミアムジョイントについて行った。両者の比較において特徴的なことはType Aではショルダー吸収トルクに依存せず、広範囲のトルクで一定のシール面圧が得られることであり、Type Bではトルクを積極的にシールに利用できる反面、過度な面圧を抑制するためにショルダー吸収トルクを所定内に厳しく制御しなければならない点である。いずれの継手もショルダー衝接は必須条件であり、ショルダートルクの変動はショルダー吸収トルクにも影響を与えるため、3.1.1項で述べた作業因子を考慮するとともに継手によっては過度なトルク負荷は避けるべきである。

3.2 ブレークアウトトルクに影響を与える諸因子

一般的に継手のブレークアウトトルクはメークアップトルクに比べて高くなる傾向にあり、ブレークアウトトルクの上昇は継手トルク抵抗の点からは好ましい反面、

Fig. 11 Effect of grease pressure on torque ratio

Fig. 12 Effect of axial loading history on torque ratio

ブレイクアウト時にパワートング能力が不足する可能性がある。ここではブレイクアウトトルクとメークアップトルクが異なるメカニズムを明らかにした。

Fig. 11 にトルク比とグリス圧力減少量の関係を測定値と FEA の値で示す。ここでトルク比は

(ブレイクアウトトルク値)/(メークアップトルク値)

で与えられ、グリス圧力減少量は

(メークアップ時のねじ界面グリス圧力)

-(ブレイクアウト時のねじ界面グリス圧力)

で与えられる。グリス圧力の減少量が大いほどトルク比は大きくなり、最大でブレイクアウトトルクはメークアップトルクの 2 倍にまで上昇する。測定値が FEA 値によく一致することから考えてトルクの上昇はグリス圧が低下することにより、ねじ界面の接触圧力が回復し、結果的に摩擦抵抗が増加したことによるものと推定できる。したがって、継手のトルク抵抗は一般的に言われるグリス摩擦係数の相違、あるいは静摩擦と動摩擦の相違以上にねじ界面のグリス圧力減衰挙動に大きく支配され

ていることが理解できる。

逆にブレイクアウトトルクを減少させる要因として軸力負荷履歴がある。Fig. 12 にトルク比と軸力負荷履歴の関係を示す。これは横軸に示した軸荷重を負荷した後、無負荷の状態では継手をブレイクアウトしたときのトルク比である。特にラウンド継手では圧縮、引張荷重が大きくなるとブレイクアウトトルクがメークアップトルクより小さくなる。この減少は軸力によりねじ山が局部的に微小塑性変形したために起こったものと考えられる。

3.3 水平坑井で継手に要求される性能

3.3.1 曲げ負荷、摩耗が継手強度に与える影響

Fig. 13 に増角率、摩耗量がバットレス継手とプレミアムジョイントの継手強度に及ぼす影響について示す。ここで摩耗はピン内面に設け、 $\phi 117$ mm の三日月状とした。引張試験時には摩耗側を曲げ引張側に位置させた。引張強度は曲げ角度によって低下しない一方、パイプ横断面の摩耗面積に比例して低下することが分かる。曲げにより継手強度が低下しない理由として、軸力と曲げによる複合荷重で管体降伏が始まると曲げによる歪みは継手部ではなく相対的に剛性の低い管体部に集中するためと考えられる。

Fig. 14 に増角率、摩耗量がラウンド継手の継手強度に及ぼす影響について示す。7"×29 lb/ft, L-80 では 40 deg/100 ft の曲げ角度で約 7 % の継手強度低下が見られ、摩耗下での継手強度低下割合も摩耗率よりも大きい。このような継手強度低下はバットレスタイプとは反対に継手部に曲げ歪みが集中するためと考えられる。API によれば曲げ下での長ラウンド継手強度低下率は 20 deg/100 ft の時でさえ、19 % であり、本結果と異なる。実油井における曲げ負荷は曲げモーメントではなく、坑跡形状に従うため、継手引張試験中の曲げ増角率を一定に保持した本試験結果により近いと推定される。

3.3.2 継手強度のメークアップトルク依存性

Table 1 に各種継手の引張破断強度比を示す。ここで引張破断強度比は最大負荷重と規格継手強度との比で表す。表中の A, B はカップリング継手の両サイドを意味し、引張破断強度比は破断したサイドのみに記入した。メークアップ条件で hand tight とは手で締め込んだのみの極めてあまい嵌合状態を意味し、CPLG center とはピン先端がカップリング中央部まで嵌合した極めてきつい嵌合状態を意味する。表から、締め込み強度に関わらず、A, B サイドの比較においては必ずあまい嵌合側から破断することが分かる。しかし、継手強度には締め込み強度に関わらず、変化は見られない。したがって、最低限、ねじの干渉が始まるまでメークアップされてい

れば API 規格を満たす継手強度が確保できる。水平坑井においてメークアップ値以上のトルクが作用した場合、あるいはメークアップ時に規格トルクを著しく超えるトルクが負荷された場合でも継手強度が低下することはないと考えられる。

3.3.3 曲げ負荷が継手シール性に与える影響

Fig. 15 にバットレス継手の170℃加熱履歴後のリーク圧と管体軸応力の関係を示す。ただし、メークアップ条件、温度条件は API 5C5 に準じた。ここで軸応力は

$$\sigma_{\text{result}} = \sigma_L + \sigma_B \quad (5)$$

$$\sigma_L = W/A \quad (6)$$

$$\sigma_B = D \cdot E \cdot \theta / (6 \times 10^4) \quad (7)$$

で定義し、 σ_{result} は常に95%のミーゼスの降伏強度を満たしている。ここで σ_{result} (MPa) は軸応力、 σ_L (MPa)

は軸力による軸応力、 σ_B (MPa) は曲げによる軸応力であり、それぞれ、軸力 W (N)、管断面積 A (mm²)、管外径 D (mm)、ヤング率 E (MPa)、曲げ角度 θ (rad/100 ft) から計算される。軸力が大きくなり、曲げ角度が小さくなるほど、シール性が劣化していることから、同一の応力下では曲げよりも軸力の方がより大きくシール性を低下させると判断できる。

Fig. 16 に FEA で解析した軸応力下でのプレミアムジョイントのシール面圧変化をメークアップ時の面圧比で示す。これより、 $\sigma_L = \sigma_B$ の時には曲げ下より軸力下の面圧が低く、軸力の方がよりシール面圧を低下させることが証明できた。

以上から判断して水平坑井においてシール性への曲げ

Fig. 13 Joint strength reduction caused by wear and bending

Fig. 14 Joint strength reduction caused by wear and bending

Table 1 Summary of tension failure test
Size : 7"×23 lb/ft Grade : L-80 Sample length : 1200 mm

Joint Type	Make-up torque combination loose $\longleftrightarrow$ tight				Test results	
	Hand tight	spec. value		CPLG center	Failure side	Strength ratio
		min	max			
API Long Round		A	B		A	1.23
	A		B		A	1.27
		A		B	A	1.20
API Buttress		A	B		A	1.28
	A		B		A	1.27
		A		B	A	1.27

Note : A=mill end make-up side B=field end make-up side

Fig. 15 Effect of combined loading with bending and axial loading on sealing ability

Fig. 16 Comparison of contact pressure under bending and axial loading

Fig. 17 Effect of axial load on torque ratio

の影響を考慮するとき、Eq. (5)を導入することで垂直坑井同等の安全性を確保することができる。

3.3.4 複合荷重下での継手トルク抵抗

Fig. 17 に軸力、内圧下でのプレミアムジョイントの

Fig. 18 Effect of bending on torque ratio

トルク抵抗を示す。トルク比は軸力を負荷するにつれ、上昇する傾向にある。トルク比の上昇は軸力の伝達により新たに生じたねじ面圧に起因したものであり、FEA値が測定結果とよく一致していることもこのメカニズムを裏付けている。解析結果はさらに内圧負荷によりトルク比が上昇することも示している。これは内圧負荷によりピンとカップリングの接触面圧が上昇する自緊効果によるものである。すべての条件下において外力を負荷するほどトルク比は上昇する傾向にあり、臨界条件は無負荷の時であることが判明した。

Fig. 18 に曲げ下でのトルク抵抗を示す。軸力、内圧同様、曲げ負荷に伴いトルク比は上昇する傾向にある。曲げ時に外曲率側は引張、内曲率側は圧縮応力が発生することと Fig. 17 の結果を考えあわせると曲げ下でのトルク比上昇は当然の結果と言える。

したがって、ケーシング降下作業時等、外力が作用した環境下でメークアップトルク同等の振り力をケーシングトップに負荷しても継手性能を劣化させることはないと考えられる。

3.4 サワー環境下での継手特性

サワー環境下でプレミアムジョイントが使用される主な理由にプレミアムジョイントの低応力がある。Fig. 19 にプレミアムジョイントとバットレス継手のメークアップ、および内圧（最小管体降伏内圧の80%）を負荷したときの周方向応力分布を示す。最大主応力である周応力はバットレス継手ではプレミアムジョイントの2倍以上になり、降伏点を大きく上回る。SSC試験の結果、バットレス継手には Fig. 20 に示すような周方向応力に起因した縦割れが生じ、典型的なSSC破面を呈していた。サワー井に対するケーシングデザインでは、軸方向応力に対する安全性は規格継手強度よりほぼ類推できるが、周方向応力に対する安全性はメークアップ応力が相乗して加わるために継手特性を理解した上で材料および継手選択にあたる必要がある。

Fig. 19 Hoop stress distribution on coupling

Fig. 20 SSC of coupling

3.5 蒸気注入井での継手特性

蒸気注入井のシミュレーション実験より得られた荷重-温度ヒステリシスを Fig. 21 に示す。蒸気注入井では蒸気注入による加熱時に熱膨張が拘束されることにより圧縮荷重が生じ、やがて降伏強度を超える。ソーキング時には応力リラクゼーションにより圧縮荷重は緩和され、油井が冷却されると降伏点に達する引張荷重が生じる。したがって、継手強度が管体降伏強度程度であるラウンド継手を使用すると高温時のジャンプイン、冷却時のジャンプアウトなど井戸にとって致命的な破壊が起こる可能性があるため、継手強度が管体降伏強度以上のねじ継手を使用すべきである。

次にこのような荷重ヒステリシス下での継手シール性を Fig. 22 に示す。ラウンドやバットレス継手のシール性はねじ間隙に充填されたコンパウンドグリスによるところが大きいが、高温では機能せず、300℃以上ではガスシールすることはできない。今回試験に供した Fig. 4 のモデルに示すプレミアムジョイントのみがガスシール性を維持できた。プレミアムジョイントのガスシール性

Fig. 21 Axial load vs. temperature behavior

Joint	No leak	Leak
Premium	○	●
Buttress	△	▲
Round	□	■

Fig. 22 Gas tightness under thermal well conditions

はそのシール部形状によるところが大きく、Fig. 21 の荷重ヒステリシスの高温圧縮下でシール部の応力リラクゼーションを軽減する設計が最も有効である。

3.6 アシダイジング適用坑井での継手特性

Fig. 23 は176℃に油加熱されたプレミアムジョイントの内面を30℃の水でスプレー冷却（熱伝達係数=8.4 kw/(m²K)）したときの境界条件をもとにFEAで求めたシール面圧変化を示す。シール面圧はピン、カップリ

Fig. 23 Contact pressure distribution under internal quenching

ングの温度差に起因して最大時で17%減少するが、その後、温度が一樣になるにつれ、回復する。Fig. 3の実験では継手はリークを起こさず、通常油井におけるアシダイジングではプレミアムジョイントはシール性を維持できると期待される。これに対してラウンドやバットレス継手では加熱とネジ面圧低下により、ネジ界面に生じているグリス圧力が抜けやすくガスリークの懸念がある。

4. ま と め

本論文では各油井環境から油井管ねじ継手に要求される性能を実験解析、数値解析により検討した。その中のいくつかの結果は適切なフィールドオペレーションを行う指針となり、より経済的でなおかつ信頼性のあるケーシングデザインを構築することに効果的である。代表的な考え方をここに述べ、本論文のまとめとしたい。

- (1) 傾斜、水平坑井では曲げの影響を相当する引張軸力に置き換えることでシール性を評価でき、バットレス、プレミアムジョイントは曲げにより継手強度は低下しない。
- (2) すべての継手で管体内面の偏摩耗面積に比例して

継手強度は低下するが、低下率はラウンド継手が最も大きい。

- (3) ケーシング降下中には少なくとも継手メークアップトルク値まで振り力を負荷することができる。
- (4) サワー井では内圧作用時のカップリング周方向応力が設計を律速する場合が多い。
- (5) 蒸気注入井ではプレミアムジョイントのみがガスシール性を維持できる。
- (6) プレミアムジョイントのフィールドメークアップでは十分なグリス塗布、グリス冷却回避、ケーシング自荷重補正により、ショルダートルクを低位安定化でき、性能確保に必要なショルダー吸収トルクが得られる。
- (7) バットレス継手で極低温のグリスを使用すると応力が過大になる恐れがあるため、メークアップ時のグリス氷結は避けるべきである。

文 献

- 石油技術協会編, 1992: 油井・パイプライン用鋼管ハンドブック. 49-63 245-260, 石油技術協会.
- Kuriyama, Y., Tsukano, Y., Mimaki, T. and Yonezawa, T., 1992: Effect of wear and bending on casing collapse strength. SPE 24597 the 67th Annual Technical Conference and Exhibition of SPE, Oct., 4-7.
- Maruyama, K., Tsuru, E., Ogasawara, M., Inoue, Y. and Peters, E. J., 1990: An experimental study of casing performance under thermal cycling conditions. J. Petroleum Tech., June, 156-164.
- Song, J. S., Bowen, J. and Klementich, F., 1992: The internal pressure capacity of crescent-shaped wear casing. SPE/IADC 23902 IADC/SPE Drilling Conference, Feb., 18-21.
- Tsuru, E., Maruyama, K., Yazaki, Y. and Peters, E. J., 1990: Influence of compound grease on the performance of premium connections. J. Petroleum Tech., March, 71-78.