

Dope-freeタイプ油井管用プレミアムジョイント

Dope-free Type Premium Connection for Oil Country Tubular Goods

津留英司^{*1)} 岡村邦彦^{*2)} 塚野保嗣^{*3)} 永吉治之^{*4)}
Eiji TSURU *Kunihiko OKAMURA* *Yasushi TSUKANO* *Haruyuki NAGAYOSHI*
 丸山和士^{*5)} 岡正春^{*6)} 佐藤直治^{*4)}
Kazushi MARUYAMA *Masaharu OKA* *Naoharu SATO*

抄 録

油井管ねじ継手締結時には従来コンパウンドグリスが塗布されてきた。このコンパウンドグリスを省略することにより、環境面、作業面の改善をはかり、掘削総コストを削減することを目的にDope-free(グリスを塗布しない)プレミアムジョイントを開発した。ねじ締結時に発生する高面圧に耐えうる耐焼付き処理として固体潤滑皮膜を活用した。実フィールドを想定した耐久試験結果でも潤滑機能の劣化はなく、シール性などの使用性能も従来継手同等に確保できた。また、実油井での使用では油井管降下時間が短縮できることが実証できた。

Abstract

Customarily, compound grease is dispensed when tightening oil country tubular couplers. Eliminating the compound grease attempts to improve environmental and working conditions and a dope-free (grease is not dispensed) premium joint was developed with the objective of eliminating overall drilling cost. A solid lubricating film was used as galling resistance processing that can withstand high surface pressures that exist when tightening screws. There was no degradation of the lubricating function even in endurance testing that simulated the actual field and we were able to ensure usage performance such as shielding equivalent to customary couplers. Furthermore, we proved that use in an actual oil well can shorten the tube down time.

1. 緒 言

ガス、原油掘削に使用される油井管は通常ねじ継手で結合され、これまでは継手締結時にはAPI 5A2¹⁾に準拠したコンパウンドグリスが塗布されてきた。しかし、コンパウンドグリスには鉛を主とした重金属粉が含まれており、地域によっては係る重金属粉の環境汚染を問題視し、グリーンドープと呼ばれる重金属粉を含まないグリスの使用に転換する石油会社も散見されるようになった²⁾。さらに井戸底にコンパウンドグリスが蓄積するとクリーニング作業を頻繁に行う必要があったり、井戸の種類によっては重金属やグラファイトが生産流体中に混入することを著しく嫌う場合もある。もし、継手が一切の液体潤滑を行うことなく使用できれば上記の課題を一掃できるばかりか、建て込み性、極寒でのグリス硬化、継手応力の増大等の施工性が改善され、ねじ検査、ねじ洗浄が容易になることも期待できる。

コンパウンドグリスの最大の役割はねじ締結時の耐焼付き性にある。そこでコンパウンドグリスに代わり、潤滑機能を備えた表面処理皮膜の研究に着手した。その結果、従来の金属接触部を有する油

井管特殊継手、プレミアムジョイントにMoS₂の固体潤滑皮膜を適切に形成させることにより、全くのドライ環境下でもケーシングサイズ(194~340mmφ)で3回、チュービングサイズ(73~178mmφ)で10回のメーク-ブレイク(締め-緩め)に対しても継手は焼き付くことなく、シール性などの使用性能も確保することができた。

このような実験室ベースの研究をもとに新商品、Dope-free NS-CC(固体潤滑皮膜付き新日鉄タイプケーシングプレミアムジョイント)を実油井に使用した結果、環境問題の解決に加え、油井管を降下する時のランニング時間も短縮できることが実証できた。

2. 油井管プレミアムジョイントに適合した固体潤滑皮膜

2.1 Dope-freeプレミアムジョイント(PJ)の概略

図1にDope-free NS-CCの概略を示す。固体潤滑皮膜は管同士を結合するカップリング側にコーティングされている。ここで皮膜は工場出荷時にすでに形成されており、りん酸塩皮膜を下地に固体潤

*1) 鋼材第二研究部 主任研究員 工博
千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎(0439)80-3103

*2) 鋼管営業部 部長

*3) ニッポンスチールU.S.A.社 マネジャー

*4) 八幡製鉄所 シームレス鋼管工場 マネジャー

*5) 八幡技術研究部 主任研究員 工博

*6) 八幡技術研究部 主任研究員

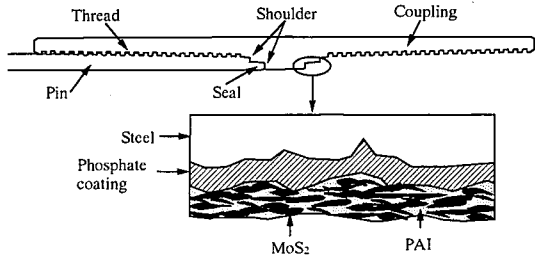


図1 NS-CCと固体潤滑皮膜の概略

滑剤であるMoS₂をポリアミドイミド樹脂(PAI)で焼結させた二層構造になっている³⁾。

2.2 各種表面処理の耐焼付き性

図2に表面処理の耐焼付き性を評価するために使用したピン-オンディスクタイプの焼付き評価試験機を示す。評価する表面処理をピンの球面にもみ施し、高面圧(Hertz面圧=2140MPa)のもと継手同様の摺動速度(5m/min)で円盤を回転させた。

表1にスクリーニング試験に用いた表面処理の代表例を示す。サンプルは大別して、軟質金属めっき(従来継手に適用)、分散めっき、固体潤滑皮膜に分かれる。分散めっきは軟質金属マトリックス中にMoS₂やPTFE(四ふっ化エチレン樹脂)等を分散混合させたものである。固体潤滑皮膜はサンドブラスト、窒化、りん酸塩皮膜などの下地の上にMoS₂をPAIやEP(エポキシ樹脂)で焼結させたものである。

図3にドライ環境下での各表面処理に対する焼付き発生までの摺動距離を示す。これより樹脂で結合した固体潤滑皮膜は従来処理に比べて飛躍的に耐焼付き性を向上させることが判った。中でも下地処理にりん酸塩皮膜を用いると耐焼付き性は高位に安定することを示している。一方、同じMoS₂でも分散めっきの場合、マトリックス金属よりも耐焼付き性は劣化する傾向にある。

以上の結果を実管評価したものを次に示す。

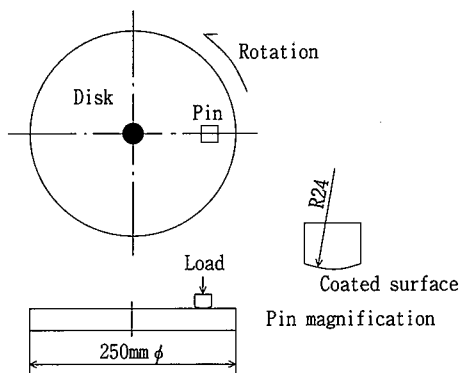


図2 焼付き評価試験機

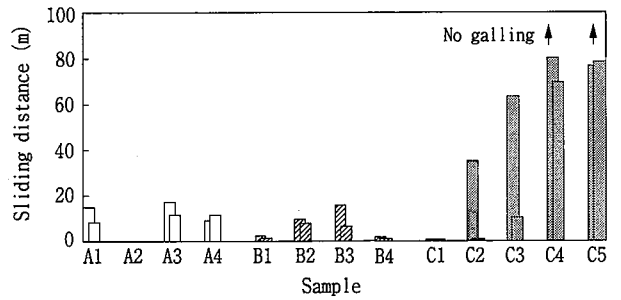


図3 各表面処理の耐焼付き性

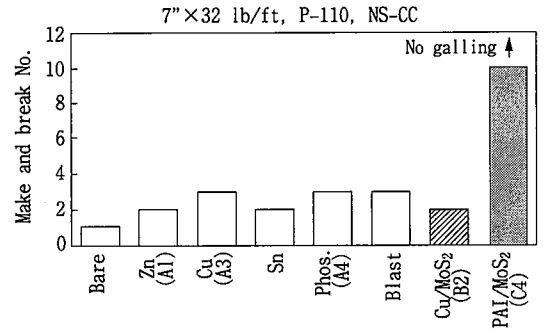


図4 ドライ環境下での継手耐焼付き性

2.3 ドライ環境下の実管耐焼付き性

図4に178mm外径のNS-CCをメーカーブレイクしたときの焼付き発生までの回数を示す。実管試験結果は図3で得られたランキングと概ね一致する。従来の使用方法(軟質めっきあるいはりん酸塩皮膜とコンパウンドグリスの組み合わせ)では10回以内に焼付きを起こすことはなかったが、コンパウンドグリスがない場合は3回以内に焼付きの中でも重度な“ゴーリング”が発生した。ゴーリングはシール性確保のために高面圧を付与しているシール部でより顕著であった。

一方、図1に示した固体潤滑皮膜ではAPI(米国石油協会)で望ましいとされる10回のメーカーブレイクに対しても焼付くことはなかった。この結果、下地処理にりん酸塩皮膜を用い、MoS₂をPAIで焼結させた固体潤滑皮膜が最適と考え、フィールド想定下の実管試験に用いることとした。

2.4 フィールド想定下の耐焼付き性

実際の使用環境は実験室と異なり、保管環境、施工環境とも苛酷なものとなる。このような環境を模擬実験した条件の組み合わせを表2に示す。いずれの環境下においても致命的な耐焼付き性の劣化は見られなかった。

(1)保管環境

湿潤環境: カップリングを防錆剤なしで10日間工業用水に浸漬後、水スプレー環境下でのメーカーブレイクしたときの耐焼付き性

表1 スクリーニング試験に用いた表面処理

Group	Metal plating				Dispersion plating				Solid lubricant coating				
Sample No.	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	C5
Pre-treatment			Ni							Blast	Nitride	Phos.	Phos.
Matrix	Zn	Ni	Cu	Phos.	Cu	Cu	Cu	Zn	PAI	PAI	PAI	PAI	EP
Solid lubricant					SiC	MoS ₂	PTFE	PTFE	MoS ₂	MoS ₂	NoS ₂	MoS ₂	MoS ₂

表2 フィールド環境を模擬した実管試験条件の組み合わせ

Simulation condition	Test items	Environmental medium					Temperature (°C)				Pressure (MPa)	
		Gas	Water	Grease	Oil	H ₂ S	R.T.	-40	-20	170	0.1	97
Standard	M&B*	×					×	×			×	
Storage	Wetting		×				×				×	
	Thermal cycling				×					×	×	
	Low temp.	×						×			×	
	Coating damage	×					×				×	
Running	Grease M&B	×		×			×			×	×	×
	Low temp.	×							×		×	
	Field repair	×					×				×	
Working	Sealing proof	×								×		×
	SSC					×	×				×	

*M&B: Make and break

温度：熱媒体油により67～163℃の温度衝撃を100サイクル以上、1週間に渡って負荷した後の耐焼付き性。-40℃で保管した後の耐焼付き性

機械的皮膜損傷：固体潤滑皮膜に欠陥が生じた場合の耐焼付き性（図5参照）。-40℃でのハンマーによる機械的衝撃、ドライバーによる皮膜剥離試験後の耐焼付き性

(2) 施工環境

コンパウンドグリスの使用：従来通りコンパウンドグリスを使用した場合の耐焼付き性。グリス有無のメイクアップを交互に行った場合

低温メイクアップ：-40℃で保管後、-20℃でメイクブレイクしたときの耐焼付き性

縦型メイクアップ：縦型パワートング（締結装置）によりパイプ自荷重がメイクアップ中の継手に作用した場合

ミックスメイクアップ：カップリングとピンの対が同じものでなく、入れ替わった場合、またはピン手入れ後の耐焼付き性

(3) 使用環境

高圧使用後：高圧ガス密封後の耐焼付き性

硫化水素暴露後：硫化水素暴露後(NACE TM0177-90A相当溶液)の耐焼付き性

以上の試験よりフィールド環境下においても固体潤滑皮膜は安定的に潤滑機能を確保できると考えられる。

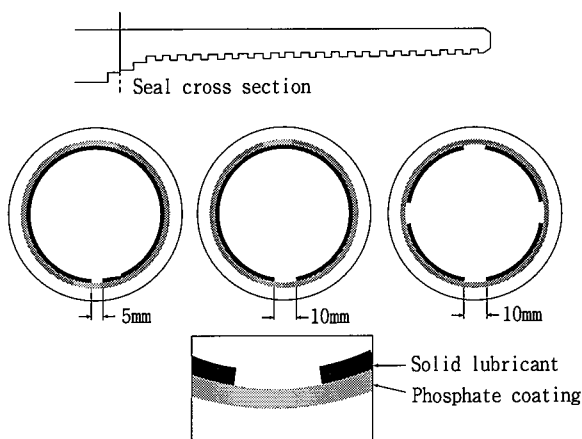


図5 固体潤滑皮膜の入口欠陥

3. 実管使用性能

(1) ガスシール性能

Dope-free NS-CCの継手シール性はAPI RP 5C5⁴⁾に準拠した評価プログラムにおいてシール性が維持できることが確認されている。

コンパウンドグリスのシール性への寄与が期待できない高温でのガスシール性について石油会社からの期待も大きく、図6に示す模擬実験を行った。図6は高温油井の代表である蒸気注入井を模擬するための試験装置で、電気炉内に配置した継手を260～354℃に加熱し、このときの軸方向熱膨張を拘束することで蒸気注入井で発生する荷重を再現するものである。同時にガス内圧を負荷することで継手シール性を評価できる。

図7に蒸気注入井模擬試験で得られた荷重-温度ヒステリシスを示す。熱膨張が拘束されることにより354℃加熱時には管体降伏強度の1.5倍にも及ぶ圧縮荷重が発生したが、継手からのリークはなかった。

このようにDope-free PJは通常油井はもちろん、300℃を超える高温油井に対しても優れたガスシール性を呈することが判った。

(2) 圧潰抵抗

表3に外圧試験結果を示す。管体は高圧潰仕様のNT-110HSであり、C1-A、C1-B、C2-Aはグリスを塗布せず、C2-Bは比較材としてグリスを塗布して10回のメイクブレイクを行った後、外圧試験に供した。外圧をAPI P-110の保証圧潰強度の1.4倍以上まで負荷したが、継手からのリークはなく、尚かつ最終的には管体より圧潰が起こった。

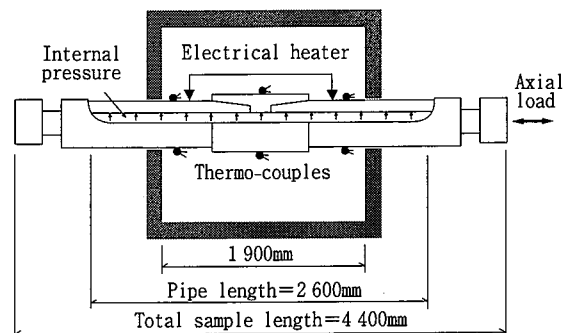


図6 サーマルウェルシミュレータ

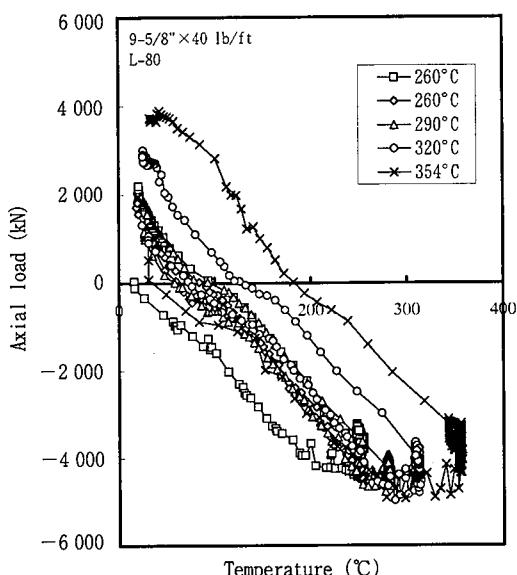


図7 荷重—温度ヒステリシス

表3 外圧試験結果

Size : 7"×29 lb/ft, Grade : NT-110HS

Sample No.	Side*	Grease	Galling resistance	External pressure seal	Collapse resistance	
					Pressure (MPa)	Mode
C1	A	No	No galling (10-M&B)	No leaking	87.0	Pipe collapse
	B	No	No galling (10-M&B)	No leaking		
C2	A	No	No galling (10-M&B)	No leaking	86.5	Pipe collapse
	B	Yes	No galling (10-M&B)	No leaking		

*Size A : Mill end, Side B : Field end

(3) 継手引張強度

継手引張破断試験結果を表4に示す。製造公差内の干渉代とねじテーパの組み合わせで継手強度を評価した結果、ねじ干渉代が小さく、ピンテーパが緩く、カップリングテーパが急な組み合わせの継手が最も低い継手強度を呈するが、APIバットレス継手の規格強度

表4 継手引張破断試験結果

Sample No.	Interference seal/thread Side	Thread taper pin/CPLG	Failure test results		
			Fracture mode	Load W (kN)	Ratio W/Ws*
T1	A min/min	nom./nom.	Pipe fracture	5 900	1.18
	B max/max				
T2	A min/min	slow/fast	Jump-out	6 380	1.28
	B max/max				
T3	A min/min	fast/slow	Jump-out	5 710	1.15
	B max/max				
T4	A min/min	fast/slow	Pin fracture	5 920	1.19
	B max/max				
T5	A min/min	fast/slow	Jump-out	6 420	1.29
	B max/max				
T6	A min/min	fast/slow	Pipe fracture	6 050	1.21
	B max/max				

*Ws : Specified joint strength of API BTC (4 980 kN)

を上回り、従来継手同等の強度が保証できることが判った。

(4)SSC抵抗

SSC(硫化物応力腐食割れ)が起こる可能性についてMoS₂からのH₂Sの発生について実験検討した。その結果、H₂Sは発生しても極めて微量で時間経過に伴う継続的な発生はなく、SSCを誘発しないことが確認できた³⁾。さらにもう一つの環境要因である継手応力はグリスメークアップに比べてはるかに小さいことも判っている。

以上のようにDope-free PJの使用性能はコンパウンドグリスがないにもかかわらず、従来PJと同等以上であることが実証できた。

4. フィールドでの施工性

Dope-free NS-CCのフィールドでの施工性をカナダのオイルサンド開発の水平SAGD (Steam aided gravity drains) を例に取って示す。図8はSAGDのケーシングデザインである。Dope-free NS-CC, 45ジョイントが9-5/8"×40 lb/ft, L-80のサーフェスケーシングに用いられた。すべての継手とも適切なトルク管理のもとメークアップされ、降下できた⁵⁾。ここでメークアップは主に締め付けトルクによって管理されるが、Dope-free NS-CCでは従来のNS-CCやAPI継手に比べ、トルクのばらつきを吸収するためにメークアップトルクは高めに設定されている(図9参照)。

図10に同種油井のNS-CCにグリスを塗布して降下したときの

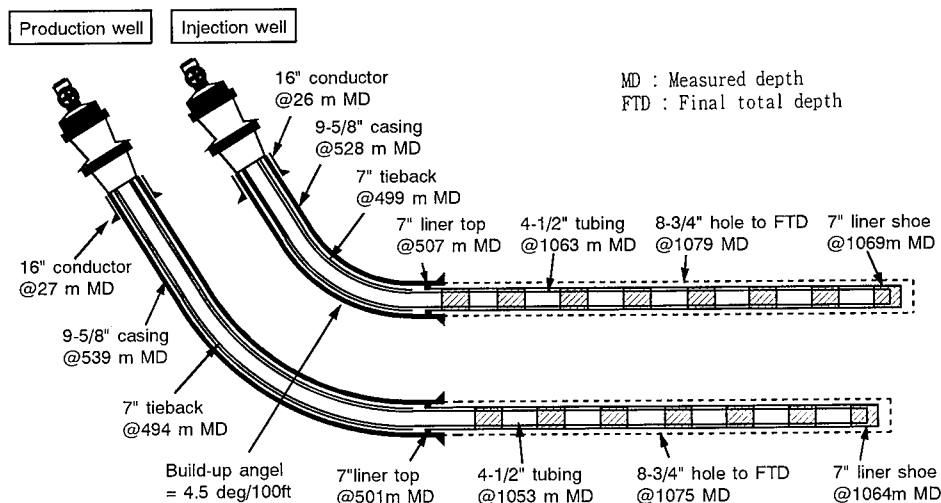


図8 SAGDケーシングデザイン

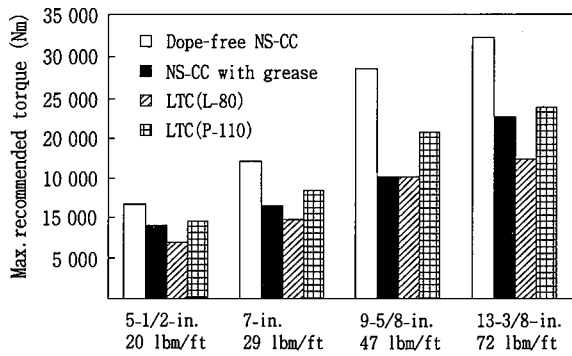


図9 推奨メークアップトルク値

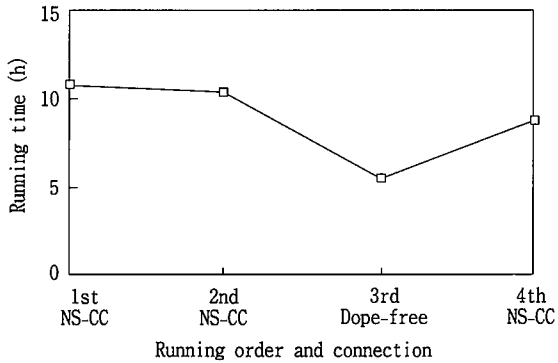


図10 ケーシングランニング時間の比較

ケーシングランニング時間の比較を示す。三番目にランニングしたDope-free NS-CCのランニング時間は明らかに短縮されている。これはグリスの塗布作業のみならず、建て込みのしやすさ、軸心合わせの容易さ等が相乗した効果とも言える。

5. 結 言

一切の液体潤滑剤を用いることなく締結でき、尚かつ、従来継手と同等の使用性能を確保できる油井管ねじ継手としては画期的な商品Dope-free NSCCの開発ができた。今後、環境規制、掘削総コストの削減に伴い、多くのフィールドに本技術が浸透していくと期待できる。

参考文献

- 1) Bull. API. 5A2, (1972)
- 2) Ogasawara, M. et al. : The 1991 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, 1991, SPE
- 3) Tsuru, E. et al. : SPE Drilling and Completion, 92 (1998)
- 4) RP 5C5, 1st ed. API, 1990
- 5) Tsuru, E. et al. : The 1999 SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, 1999, SPE