

最近の油井管継手

小笠原 昌雄*

Masao OGASAWARA

Current Status of Tubular Connections for OCTG

1 はじめに

石油掘削は、古くは中国に始まったと言われているが、1900年、A. Lucasがテキサス州スピンドルトップにおいてロータリー掘削法で石油開発に成功して以来、現在の掘削技術の基礎が出来上がった。石油掘削の時、坑壁保護、Lost Circulation防止、などのため、油井用鋼管を接続して地下数百―数千mに挿入することになるが、鋼管の接続には機械継手が用いられて来た。その間、溶接、圧接など、一般構造物の接続と同様、接続方法改善の試みが成されて来たにもかかわらず、より確実に、より簡便な接続方法として、ネジ継手が、用いられているのは、油井管構造物の特異性から必然的なものであったと思われる。即ち、油井管は、(1)地下に挿入する際、数回の出し入れが行われること、(2)掘削時間の短縮のため速やかに接続／取り外し(Make-up/Break-out)が可能であること、(3)荒地、極地において容易に作業できること、(4)継手強度、シール性など接続部の機械的特性が確保されていること、などの条件を満たした最適構造がネジ継手であった、ということになる。しかし、この様に選択の自由度が限られた“たかがネジ”の世界にあっても、技術の客観情勢が変化するにつれ、継手の形も少しずつ変わって来ている。本解説では、油井管継手という古い技術が、新しい油井開発ニーズの中で、どの様に変遷しているかを、特にケーシング・チュービング継手の機械的特性に限定して議論することにする。

2 油井管継手の変遷

米国石油協会(API)¹⁾の標準継手は図1に示す様に、(A)Roundネジ継手、(B)Buttressネジ継手、(C)EL継手の3種類があり、Roundネジ及びButtressネジ(USS社がAPIに寄贈)

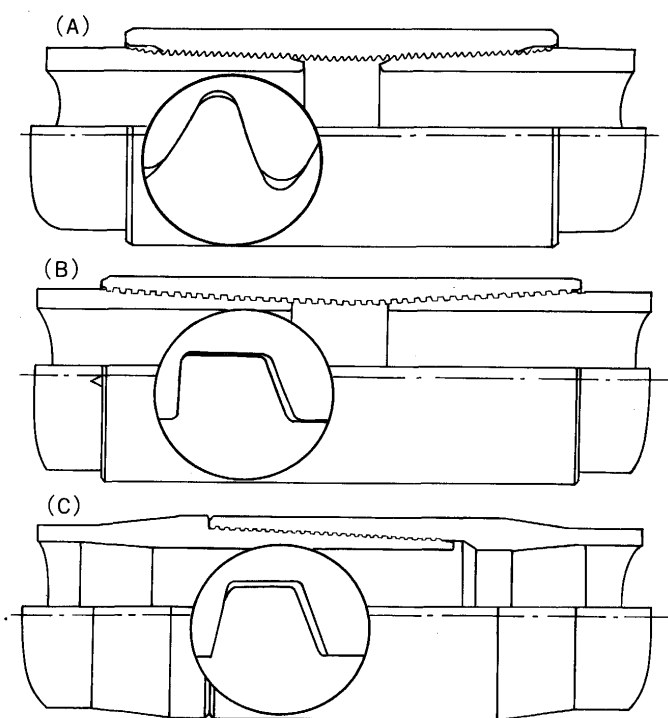


図1 API標準継手

カップリングタイプ

A: API-Round継手(メタルシールなし)

B: API-Buttress継手(同上)

インテグラルタイプ

C: API-EL(メタルシール有り)

は、メタルシール部を持たない継手であり、ネジの隙間にグリスを高圧で閉じ込めることにより、高圧の内容物のリークを阻止する構造になっている。従来の油井は一般に、浅井戸、垂直井、陸上又は海上油井が多く、主として石油回収を目的としていた。従って石油の様な液体を回収する油井管継手としては、API標準継手の機能で充分であったと考えられる。更に厳しい環境条件下又は特殊使用条件下に

平成4年4月23日受付 平成4年11月6日受理 (Received on Apr. 23, 1992; Accepted on Nov. 6, 1992) (依頼解説)

*新日本鉄鋼(株)八幡技術研究部主幹研究員(Yawata R&D Lab., Nippon Steel Corp., 1-1 Tobihata-cho Tobata-ku Kitakyushu 804)

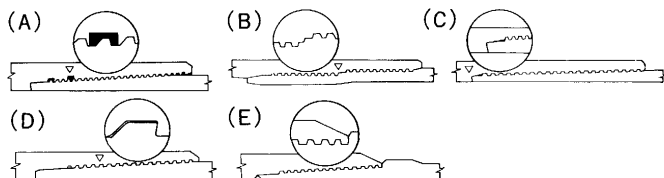
Key words: OCTG; high pressure gas wells; gas tightness; new premium connections; design philosophy of connections; API-5C5 evaluation tests; API standard connections.

おいては、表1に示す様に多くの継手が適宜用いられるようになり、サービスジョイントと呼ばれ、継手加工メーカーが鋼管にネジ加工を実施し、費用をプレミアムとして取るもの、と鋼管メーカーが独自に開発したミルジョイントとがあった²⁾。各メーカー共、使用状況に応じて、特殊な機能を持った継手を開発しており、表1のネジ種もそれぞれ異なった形状を持ち、異なった特性を有することが知られているが、ここでは詳細は省略する。主な特徴は表1右欄と図2に示した。

表1 従来の油井管継手

	メーカー	TUBING	CASING	特徴
標準	API	Round	Round, Buttress EL-Casing	ネジシール メタルシール
プレミアム ジョイント	サービ スネジ	AB DS-HT,FL-3S,DSS-HTC IJ-3SS,FL-4S,IJ-4S, TC-4S,IJ-3SW,IJ-MS	FL-4S,IJ-4S,TC-4S	テフロン入り
	Hydril	CS,A-95,PH-6 CFJ,CTS,CFJ-P,TAC-1 Super-FJ,PH-CB	NCT,SFJ,Trippl-seal CLS,CTS-RFB,Super-FJ FS-40,FJ-WP	2段平行ネジ
	Quanex	DWS,QST,QSC	QFJ,QSC	テフロン入り
	VAM	VAM,VAM-ATAC,VAM- AG,VAM-AF	VAM,VAM-ATAC,VAM- AF,VAM-AG,FJL	インバース ショルダ
	ARMCO	Seal-Lock,NU-Lock	Seal-Lock	フックネジ
	Mannes- mann	TDS	BDS,OMEGA,MUST	インバース ショルダ
	NK	NK-EL,NK-2SC,NK-3SB	NK-EL,NK-3SB	直角ショルダ

その他、Reed, Pittsburg, AMF, Dalmine, Oil-Field, Spiral-tech, USS, OTIS Tubular Threading, Landell, TEXAS, BENOITなど。



- A: テフロン入りネジ継手 D: フックネジ継手
 B: 二段平行ネジ継手 E: 外ショルダ継手
 C: 内ショルダ継手
 ・インバースショルダ
 ・直角ショルダ

表2には1965年当時の主な継手の水圧シール特性を示した。検査本数はまちまちであるが、API継手のシール性は、シール部を持つプレミアム・ジョイント（以後PJと書く）に比べて悪い、と言える。一方、シール部を持つPJであっても、水圧にすら耐えられないものが見られる。

ところが、最近では、深井戸、水平坑井、海上リグ掘削

表2 油井管継りく頻度（チュービング、水圧テスト）

API-Tubing	Special Coupled Tubing			Special Integral Tubing			
8-Round	Joint-A	Joint-B	Joint-C	Joint-D	Joint-E	Joint-F	Joint-G
1.58(%)	0.72	0.26	0.64	0.47	0.14	0.48	1.61

H.P.Kerr "Thread Leaks in Tubing and Casing Strings", API Division of Production, Feb. 1965⁽¹¹⁾

井など、油井管に加わる力学的条件に厳しさが増し、また回収資源としても、天然ガス、コンデンセートなどに移ってきている。更に回収率向上のため、蒸気注入などに代表されるEOR（増進回収）井の開発も行われ「厳しい複合荷重条件下で高圧ガスをシール」できる継手が必要となってきた³⁾。ガスの場合、水のリーク圧の約1/5—1/10の圧力でリークすることが実験的にも確かめられている⁴⁾。この様な状況の中で、1990年、APIで油井管継手の評価基準も改定された⁵⁾。この規定は、先のフィールドの要求を反映したものとなっており、新しい目標に向かって継手の改善努力が必要となっている。

3 油井管継手の機械的特性

3・1 一般的形状

表1に示した従来の継手は、インテグラル継手が多かった。機械継手は一般に、継手強度、シール性などの特性が低下するため、管端アプセットによる増肉を行い、継手部の肉厚を確保すると共に、接続部を雄ネジ部／雌ネジ部の一ヶ所にして、安全率を確保する設計が行われていた。このタイプのインテグラル継手は、長尺鋼管の管端を増肉し継手加工を行う構造であるため、加工精度・再加工の難しさ・熱処理・表面処理の限界などの点で製造上の制限がある。メリットとしては、外部ショルダー（external shoulder）を設けることによって、継手強度の確保・外圧シール性確保・過大トルク制御などが容易な点である。しかし、カップリング継手であっても特性面で、インテグラル継手に劣らない構造の継手の設計も可能となり、商品コストと性能のバランスを考えて、最近では、カップリング継手が圧倒的に多くなっている。

3・2 ガスシール性

ガスが継手からリークしているか否かについて、Yes/Noで答えることは、計測技術上、むずかしい。SIPM社など、メジャーオイルでは、ガスのリーク限界を 10^{-2} — 10^{-3} cc/sと定めており、水上置換法でも、質量分析法⁶⁾でも、この精度が限界であると考えられる。例えば、10mm長のリークパスを持つ200mmΦの継手から1000気圧の空気がリークすると考えて、Poiseuilleの法則から限界隙間のオーダーを見積もると、粘性率 2×10^{-5} (N・m・ $^{-2}$ s) として h =数百Åとなる。又、リークパスの長さが1/10になると、隙間は1/2—1/3となり、ガスをリークさせないためには、局部的に高い面圧によりリークパスを塞ぐか（線シール）、パス長を長く取るか（面シール）の選択となる。隙間を小さくするためには、著しい荷重増が必要である上、円周方向に確実に連続的に高面圧を得る必要があり、設計が難しく、リークパスを長く取る方が確率的にも、容易の様に見える。図3には各種

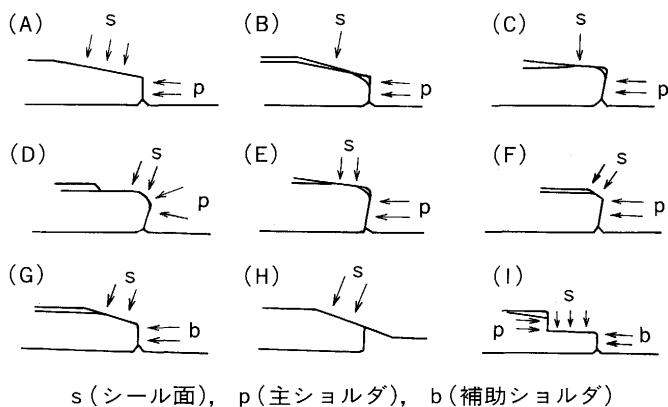


図3 各種の油井管継手シール部模式図

PJのシール部形状の代表的なものを分類して示したが³²⁾、(B)(C)は線シールを、その他は面シールに近い中間的シール方式を取っていると考えられる。一方、シヨルダ形状をみると、(A)(B)(G)(I)は直角シヨルダ、(C)(E)(F)は負角（インバース）シヨルダである。負角シヨルダの場合シール部に高い接触面圧を確保する上で効果的であるが、過大な軸圧縮荷重を受けたり、過大トルクを受けるとシヨルダ部の塑性変形を避けることが出来ない。この時、シヨルダがシール部の前方にある継手（A-F）の場合、シール部も塑性変形を受け易い。一方、(I)の場合、シヨルダがシール部後方にあるため、シール部への影響を小さくできる。ただし、この場合、シール部の厚みを十分確保できない、という難点がある。

3・3 継手強度とネジ形状

ネジ形状はネジ山高さ、ネジテーパー、ピッチなどと共に、継手強度に重要な影響をもたらす。Roundネジは図4に示す様に、丸山形状をしており、load flank面（荷重面）、stabbing flank面（挿入面）は同じ 30° である。このため、ネジ底の応力集中は小さいが、ネジのjump-out（外れ）の可能性がある。特に外圧などの複合荷重下では、この傾向が増加する。図4(B)はButtressネジであり、APIの場合、load flank角 $\theta_1 = 3^\circ$ であり、 $\tan\theta_1 \leq \mu$ （ μ ；摩擦係数）の関係から、 $\mu \leq 0.05$ となり、通常の境界潤滑領域においては、 $\mu = 0.1-0.2$ であることから、単純にはネジの外れは発生しない。但し、降伏点を越え、パイプのくびれ、ネジの塑性変形が発生する様な過大荷重になると、上記条件では不十分となり、“ネジゴケ”現象が発生することがある。図4(C)(D)(E)は何れもModified Buttressと言われている。対称形のAcmeネジ(E)では、通常 $\theta_3 = 6-12^\circ$ が使われており、先の論法からネジの外れが起こり易いと考えられる。最近、Hookネジ(D)（ $-\theta_2$ ；負角）が注目されており、軸力下で食い込む構造を利用して、厚肉用、大径用などに適用されている。(F)に示したWedgeネジも最近、米国で、実用化された。

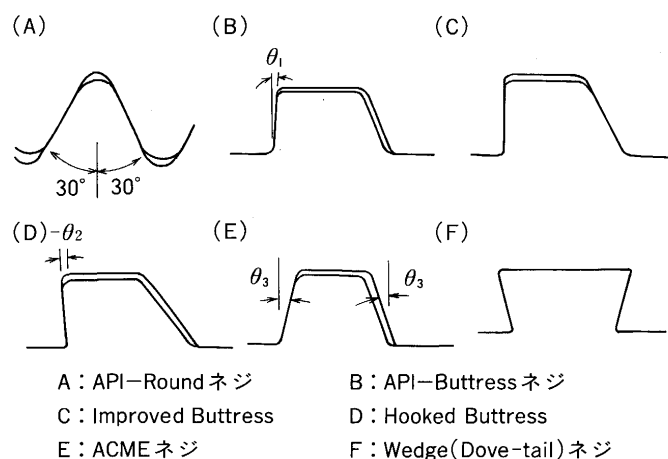


図4 油井管継手ネジ形状の模式図

3・4 耐焼付性（耐ゴースリング性）

油井管は複数回の使用を見込んでおり、締結時に焼付きの発生を防止するため、ネジ部、シール部に表面処理を施す必要がある。炭素鋼の場合、ショットブラスト、リン酸塩処理など、表面に一定の凹凸を付して潤滑を上げる方法と、亜鉛メッキなど、軟らかい金属メッキを施す方法とがある。最近、需要が増加しているステンレス油井管の場合、蔭酸処理の他、銅メッキが用いられているが、機能は炭素鋼の場合と同様である。性能面ではメッキが一番良いと思われるが、湿式の金属メッキは 10μ 程度の一定の厚みが必要とされている。最近では主としてCVD、PVDなど乾式のコーティングが研究されており、イオンプレーティング法によって銅などの金属を付着させる方法は既に油井管継手の表面処理法として実用化されている⁷⁾。

3・5 機械特性評価基準

API継手評価Working Groupは、従来の評価試験基準RP37を改定し、新たに5C5を制定した。この方法は、油井管の使用状況によって、継手を四クラスに分類し、試験を義務付けている。クラスIのチュービングの場合、27本の継手に対し、内圧ガスサイクルテストの他、引張圧縮軸力下で内圧、外圧の複合荷重をミーゼスの降伏楕円に沿って加えるテストなどがあり、最後には内圧下での引張、圧縮破壊をする複雑な試験である。内圧としては、破壊テスト以外は、高圧のガス圧を加え、リークを調べる。荷重も実測降伏応力の95%相当を加えるなど、条件は厳しいものとなっている。更に、多数の歪みゲージによる歪み分布の確認を要求したり、独自の評価法を作って、曲げ、ネジリの複合荷重下での特性を要求されることもある。また、FEA（有限要素法解析）によるデータの検証を求めるところもあり、そのためのプログラムも開発されている⁸⁾。試験は各サイズ・グレードに対して要求され、一つの試験を数ヶ月、数千万円の費用を要する。これらの試験は高压ガスを取り扱うため、危険を伴う上、技術的に確立されていない所も

あり、今後の改善が必要である。

3・6 その他フィールド作業性

掘削現場における使い易さ、などは油井管継手の最も重要な使用性能の一つと言える。ネジの入り易さ(stabbing性)、傷つき難さ(anti-vulnerability)、互換性(interchangeability)、補修易さ(repair)、過大トルク防御(over-torque)などの点で制限が多い継手は、作業上、好まれない。又、形状の上から、エロージョン・コロージョン防止に配慮するなど、使用者側に立ったこまやかな商品設計も必要な条件の一つである。

4 最近のプレミアム・ジョイント

使用環境の変化に対応するため、従来のAPI継手やPJに満足できないユーザーは、新しい機能を持った油井管継手を求めている。鋼管メーカーも従来のAPI継手の製造だけでは様々な注文に対応できず、独自の技術を開発し、鋼管シェアを拡大することに意欲的である。

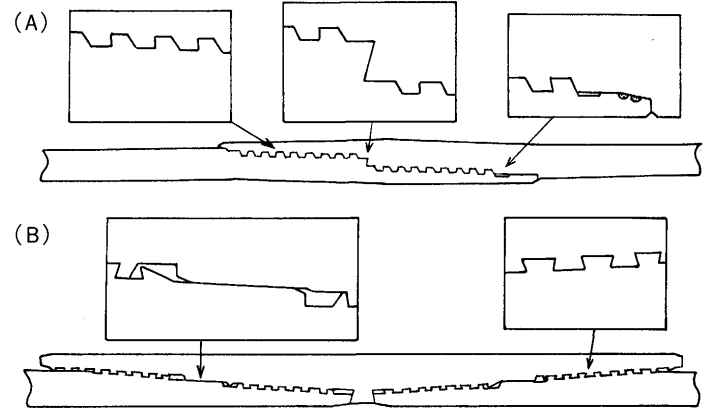
表3 新しく商品化されてきた油井管継手

用途	一般使用	NS-CC, VAM-ACE, FOX
	Liner.Flush用	INTACT, NJO, SuperLX, Super ST/L
	大径用	SM-EF, VETCO, Big-Ω, Hunting
	厚肉用	VAM-HW, HPC, NS-HC
	高継手強度用	HWT

最近では、コンピュータ技術を駆使することが可能となり、継手設計にあたり、有限要素法等を用いデザインの最適化を図ることにより、機械継手の弱点を克服し、利点を強調する努力が成されている。また、製品の評価技術・評価設備も完備され、商品化に当たってデザインの確性が繰り返され、性能の向上が図られている。表3には最近開発されたPJを示したが、シール性の安定化、ゴーリング防止等の他、フープ応力低減、継手強度の確保、ジャンプアウトの防止、応力集中の低減等、様々なデザインの工夫が成されている。

特殊使用の継手としては、米国を中心にINTACT、NJOなど、図5(A)に示す二段テーパ―Hookネジが開発されており、Liner用、Flush用として使われている。又、従来、コンダクターパイプにはシール性は不要とされていたが、最近では少なくとも液体のシール性を求めるユーザーが多い。更にAPI継手は20inch(508mmΦ)が最大外径となっているが、最近では、これ以上の大径パイプを用いることもあり、メタルシール部を持つ大径用継手も開発されている。極めてユニークな継手が最近ハイドリル社で開発された。HWT(Dove-tail) Wedgeネジと呼び、図4(F)、図5(B)に示した

様にネジの頭部が広がった構造になっている。このネジは、jump-out(抜け)防止性、トルク制御性、が良いと言われている。



A: INTACT(Liner用Flush-Joint) B: HWT(Dove-tail Wedgeネジ)

図5 最近の特殊継手

5 おわりに

油井管継手への需要は特殊化しつつあり、メーカーの飽くなき開発意欲は新たなデザインの到来を予期させる観がある。表2で、過去メタルシール部を備えたPJが水圧テストにおいてすら、0.1—1%の割合でリークしていたことを示した。データは古いとはいえ、100%ガスシール性を保証することが要求される現在の継手とは隔世の感がある。当時は必ずしもNC旋盤によって加工がなされていたとは限らないが、デザインがいくら良くても、製造技術が低ければ、特性の向上は望めないという事を物語っている。新商品に少しでも多くの機能を与え、少しでも高い性能を発揮させるため、新デザインに腐心するのは当然であるが、安定した商品を作り込む品質管理が、いかに重要であるかを改めて認識させられる。

文 献

- 1) API Spec. 5A, Specification for Casing, Tubing and Drill Pipe, (1987), May, p.21
- 2) 各社カタログ参照
- 3) K.K.Biegler and C.W.Peterson: Journal of Petroleum Technology (1984) Oct., p.1739
- 4) N.Matsuki, Y.Morita and H.Kawashima: Proc. of Energy Sources Technology Conference, (1985), Feb., p.73
- 5) API RP5C5, Recommended Practice for Evaluation Procedures for Casing/Tubing Connections, First Edition, (1990), Jan.
- 6) Weatherford Oil Tool, "Helium Leak Detection,"
- 7) G.W.White: J. Pet. Tech., (1984) Aug., p.1345
- 8) T.Sato, M.Hori and T.Ichikawa: Proc. of Energy Sources Technology Conference, Dallas, (1985) Feb., p.109
- 9) E.Tsuru, K.Maruyama and Y.Yazaki: IADC/SPE, Drilling Conference, (1988), p.275
- 10) 上野雄夫、平野 豊: 鉄と鋼, 72 (1986), S359
- 11) H.P.Kerr: API Division of Production, Spring meeting of Southern District, (1965) Feb., p.14