

水平掘りケーシングデザインシステムの開発

Development of Casing Design System for Horizontal Well

丸山和士 ^{*1)} Kazushi MARUYAMA	塚野保嗣 ^{*2)} Yasushi TSUKANO	上野正勝 ^{*3)} Masakatsu UENO	朝日均 ^{*4)} Hitoshi ASAHI
津留英司 ^{*5)} Eiji TSURU	三牧敏太郎 ^{*6)} Toshitaro MIMAKI	栗山幸久 ^{*7)} Yukihisa KURIYAMA	

抄 録

石油業界では、油・ガスの回収効率向上又は既存油井の活性化を目的に水平掘りが盛んに行なわれているが、ケーシングの曲げ・摩擦、坑壁との摩擦などが鋼管の実用性能に及ぼす影響が明確にされていないため、安全で経済的な水平掘りケーシングデザイン技術が確立されていない。そこで、水平坑井荷重条件下の鋼管性能を明確にし、それら知識ベースを組み込んだケーシングデザインシステムの開発・商品化(名称:JCASING)を行った。本システムは、この外にも水素を媒体とした耐硫化物応力割れ材料選定技術、キックトレランスを考慮したマルチストリングデザイン技術、高機能油井管データベースなど種々の有用機能を具備している。

Abstract

In the petroleum industry, mining of horizontal wells is extensively carried on with a view to improving the efficiency of recovering oil and gas and activating the existing oil wells. Since it has not been cleared yet how such factors as a casing bending and its wear, a friction force between the casing and the well wall and so exert influences on the properties of steel pipe, the safe and economical casing designing technology has not been established. From this sense, the properties of steel pipe under the conditions of horizontal well load were cleared, and a casing design system incorporated these knowledge bases was developed and started marketing as JCASING of the trade name. This system is possessed of various serviceable functions such as material selection technology on a material with a property of the resistance to the sulfide stress cracking through hydrogen as a medium, multi-string design technology taking account of a kick tolerance, data base storage on the highly functional oil well pipes, and so.

1. 緒 言

石油業界では油田開発コスト削減を目的に、既存の坑井から別の井戸を水平に掘るリエントリーウエル、又は地上設備、油井管消費量、掘削屑などの最小化を狙ったスリムホールウエルの開発が盛んである。

水平掘りに利用されるケーシングは、曲げ、摩擦、掘り等、垂直井にない荷重を受けるが、そのときの鋼管実用性能が不明確なため、適用鋼管は過剰仕様になる傾向があった。そこで、水平掘り荷重環境における鋼管性能の把握とそれに基づく水平坑井ケーシングデザイン技術が待望されている。又、スリムホール掘削では、ケーシング埋設位置、キックトレランス(坑底からのガスの暴噴に対する坑

井の安全性評価)などの油井掘削技術とも深くかかわったケーシングデザイン技術が必要とされている。

本デザインシステムは、このような背景の下に、石油公団から委託を受け水平掘りとスリムホール油井設計への適用を念頭に置いて開発したものである¹⁾。

特 徴

- 1) 水平掘り傾斜掘り特有の揚降管作業で発生する摩擦力(Torque & drag)の影響を考慮
- 2) ケーシングの摩擦、曲げが鋼管の圧潰、継手性能に及ぼす影響を定量化
- 3) 摩擦予測が可能

*1) 技術開発本部 八幡技術研究部 主任研究員 工博
*2) ニッポン・スチールU.S.A社 ヒューストン支店 部長代理
*3) 日本鑄鍛鋼(株) 参与 工博
*4) 技術開発本部 鋼材第二研究部 主任研究員 工博

*5) 技術開発本部 鋼材第二研究部 主任研究員
*6) 技術開発本部 鋼材第二研究部 主幹研究員 工博
*7) 技術開発本部 鋼材第一研究部 主幹研究員

- 4) pH及び硫化水素分圧の影響を考慮した新しい腐食環境評価機能と材料選定機能の付与
- 5) 坑跡決定, ケーシング埋設位置の決定, キットトレランス解析機能を付与
- 6) 特殊油井管(プレミアムジョイント, 耐コラプス, 耐サワー)データベースを内蔵
- 7) ケーシング費用の最小化

2. 水平坑井ケーシングデザインシステムの概要

図1に本システムの計算フローを示す。最初に坑跡の設計を行い, 続いて地層圧力・強度の情報に基づいてケーシング埋設位置を決定する。次に, 設計するケーシングを選択し, ストリング一本について詳細設計を行う。まず, 掘削条件を入力して摩耗量を予測する。2番目に, 腐食環境条件を入力しケーシングデザインに供する候補鋼管を絞り込む。3番目に, 絞り込まれた候補材の中から, トルク・ドラッグなど坑井の荷重条件に適合する安価な鋼管を選別していく。最後に安全率, 費用, 重量などの結果を出力する。

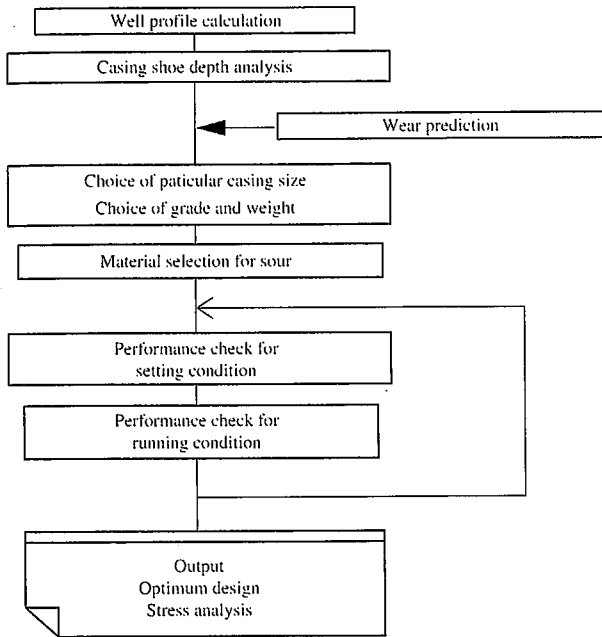


図1 ケーシングデザインシステムの計算フロー

3. 水平坑井荷重条件下の油井管実用性能

3.1 圧潰抵抗

水平坑井におけるケーシングパイプの圧潰抵抗は, 坑井屈局部における曲げ及びドリルパイプとの接触による内面摩擦の影響を考慮しなければならない。内面摩擦については, 内面をグラインダーで三日月状に研磨した鋼管の圧潰試験を行い図2に示す結果を得た。図は摩耗した鋼管の圧潰抵抗が, 肉厚減少割合だけ低下することを示す^{2,3)}。

曲げ圧潰性能については, 一樣な曲げモーメントを加えた鋼管の圧潰試験を行い図3に示す結果を得た。図は, 曲げによる圧潰抵抗の減少が, 非常に小さいことを示す。従来, 曲げの影響は引張曲げ応力に相当する軸力に置き換えていたので過大評価になっていた。軸力下の圧潰抵抗はミーゼスの降伏条件式で支配され⁴⁾, 引張軸力下では低下するが, 曲げの場合には, 図4に示すように引張と圧縮

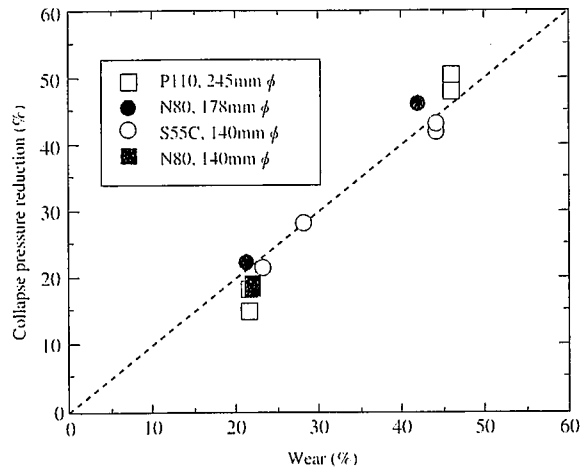


図2 圧潰抵抗に及ぼす摩耗の影響

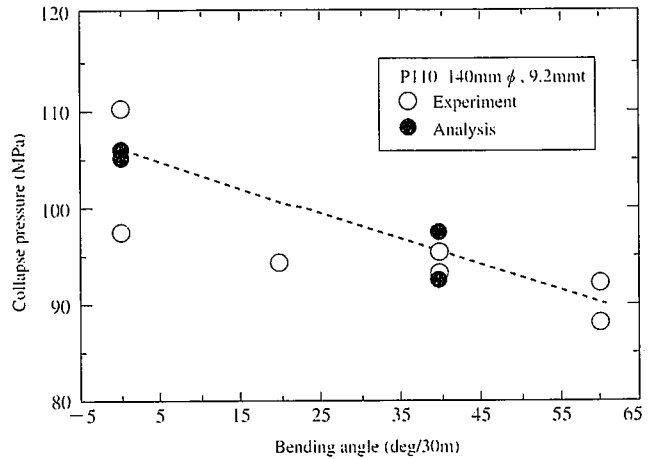


図3 圧潰抵抗に及ぼす曲げの影響

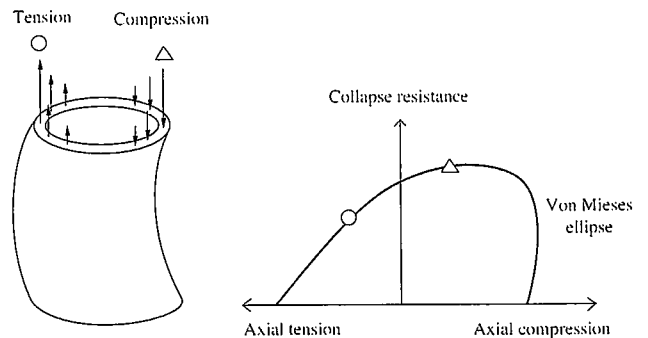


図4 ミーゼスの降伏楕円と曲げ応力の関係

が共存し, 圧縮による圧潰圧力の向上が, 引張による低下を補ってくれることが期待できる。そこで, 曲げ応力による圧潰圧力の低下度を管断面微小部分ごとに円周方向に積分して影響度を評価することにした。評価式を(1)式, 実験結果との対応を図3に示す。実験値と計算値はよく一致している。

$$P_b = P_0 \int_0^{2\pi} \left[\sqrt{1 - 0.75 \left(\frac{\sigma_b(\theta)}{Y_P} \right)^2} - 0.5 \left(\frac{\sigma_b(\theta)}{Y_P} \right) \right] d\theta \quad \dots (1)$$

ここで, P_b : 曲げ応力下の圧潰圧力, P_0 : 真直管の圧潰圧力, $\sigma_b(\theta)$: 円周方向 θ 位置の曲げ応力, Y_P : 降伏応力である。

3.2 振り抵抗

水平掘りでは、傾斜部においてケーシングと坑壁の間に大きな摩擦力が発生する。特に、セメント施工時における鋼管の回転に伴う摩擦力と継手の締め付けトルクとの大小関係が問題となる。摩擦力は図5の力の釣合い関係から求められ、回転(トルク増分)と上下動(ドラッグ増分)に分け、(2)、(3)式で評価される⁵⁾。

$$\Delta M = \mu \cdot F_n \cdot r \quad \dots\dots (2)$$

$$\Delta F_1 = W \cdot \cos\theta + \mu \cdot F_n \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 ΔM :トルク増分、 μ :摩擦係数、 F_n :垂直抗力、 r :鋼管半径、 ΔF_1 :ドラッグ増分、 W :鋼管重量、 θ :傾斜角度である。

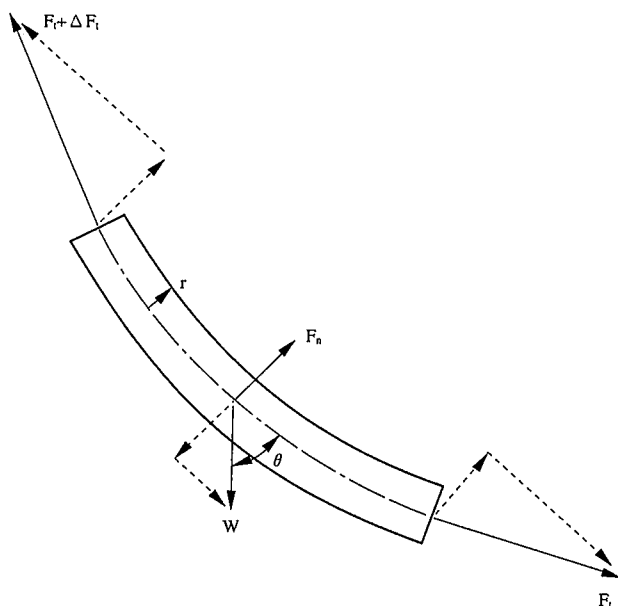


図5 坑井傾斜部に働く摩擦力(トルク・ドラッグ)

継手の締め付けトルクは、ねじ種により異なる。API(American Petroleum Institute)丸山ねじの締め付けトルクは、API RP5C1の許容締め付けトルクが最大である。APIバットレスねじ(BTC)については、推奨値がないので、同一サイズ・鋼種のAPI丸山ねじの値を適用した。プレミアムジョイント(MTC)は、一般にトルクショルダーを有するのでAPIより高いトルク抵抗を示し⁶⁾、水平坑井には適している。例えば、新日鉄プレミアムジョイントNS-CCの許容締め付けトルクは、メタルシール部の気密性を損なわない最大トルクから決定され、図6に示すようにAPI継手に比べ圧倒的に高い性能を具備している。

3.3 継手強度

API丸山ねじ継手、バットレスねじ継手、NS-CCの曲げ荷重下(40度/30m)の引張り試験を行った⁴⁾。バットレスねじ継手及び、それにメタルシール部を設けたNS-CC継手は、真直パイプと同等の継手強度を示した。一方、丸山ねじ継手は曲げにより引張強度が低下した。図7は湾曲形状を一定に保った状態の曲げ荷重と引張荷重の変化を示す。丸山ねじ継手は、バットレスねじ継手より小さい引張荷重において曲げ荷重は低下し、しかも、曲げ荷重が残った状態で破断している。これは、バットレスねじ継手が、不完全ねじ部までねじのかん合が計られているのに対し、丸山ねじでは焼付き防止のため、雄ねじ終端において不完全ねじ山がかん合せずに露出し、それが応力集中源になっているからである。

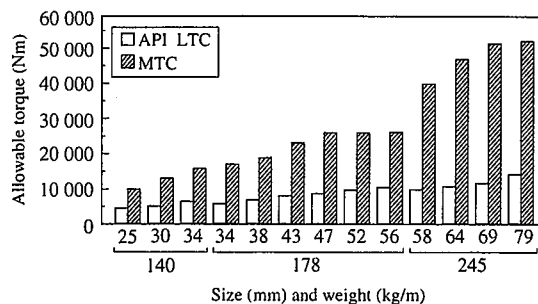


図6 継手の許容締め付けトルク

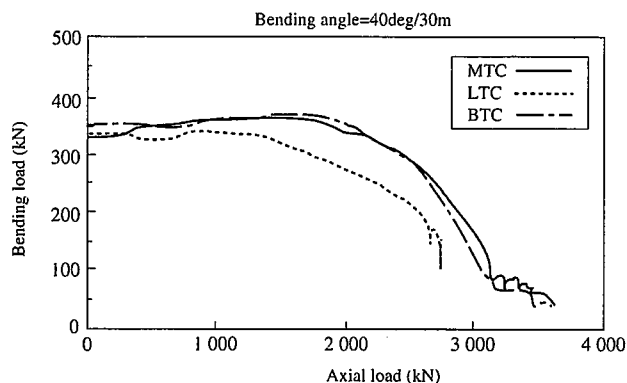


図7 固定曲げ形状における引張荷重と曲げ荷重変化

3.4 継手シール性能

曲げ荷重を受ける継手のガス及び水に対するシール性能を調査した。シール性評価はAPI RP5C5に準じて、引張・曲げ・内圧によるミーゼスの相当応力が95%になるような複合荷重条件下で行った。曲げ率は、20度、40度/30mに対して検討した。結果を表1に示す。

表1 曲げ荷重下の継手シール性能

Size	Grade	Joint	Bending angle (deg/30m)	Test result	
				Water	Gas
140mm 25kg/m	K55	MTC	0	No leak	No leak
			20		
			40		
140mm 34kg/m	P110	MTC	0	No leak	No leak
			20		
			40		
178mm 43kg/m	L80	MTC	0	Leak	Leak
			20		
			40		
	L80	LTC	0	No leak	No leak
			20		
			40		
245mm 58kg/m	K55	MTC	0	No leak	No leak
			20		
			40		
245mm 64kg/m	N80	MTC	0	No leak	No leak
			20		
			40		

両API継手が、ガス・水に対して漏れを生じたのに対して、メタルシール部のあるNS-CCは40度/30mの曲げに対してもシール性能を保持した。従って、シール性能が要求される水平坑井では、メタルシール部を保有するプレミアムジョイントの適用が望ましい。

3.5 耐硫化物応力割れ(SSC)材料選抜法

材料のSSCは、硫化水素濃度、水素イオン濃度、温度の複合条件に影響されることは良く知られているが、現行のNACE材料選定基準⁸⁾では、サワー環境の苛酷度が温度のみで評価されており、上記要因の影響が反映されていない。そこで、SSCが、水素脆化現象であり、割れを律するのは鋼中の水素濃度であるとの考えから新しいサワー環境の苛酷さ評価方法と耐硫化物応力割れ材料選定法を開発した⁹⁾。

3.5.1 サワー環境苛酷度評価法

腐食環境から鋼中に侵入する水素量を電気化学的水素透過試験により測定した。定常状態では、侵入水素量は(4)式から拡散定数Dと水素透過速度Cを測定することにより求まる。

$$C = J \times L / D \quad \dots\dots (4)$$

ここで、C：水素濃度、J：透過速度、L：水素が透過する試験片厚さ、D：拡散定数である。

鋼中に侵入する水素は、鋼表面で還元された溶液中の水素イオンであり、硫化水素は水素原子の鋼中への侵入を加速する触媒として働く。種々環境条件における侵入水素量とこれら腐食環境要因の関係を回帰分析し、図8及び(5)式を得た。

$$[H]_{Fe} = 13 \times ([H^+] \times [H_2S])^{0.26} \quad \dots\dots (5)$$

ここで、 $[H]_{Fe}$ ：基準試験片中の水素濃度ppm、 $[H^+]$ ：水素イオン濃度($pH = -\log[H^+]$)、 $[H_2S]$ ：溶液中の硫化水素濃度ppmである。

$[H]_{Fe}$ が水素イオン濃度、硫化水素濃度、温度をすべて考慮した新しい腐食環境苛酷度評価指標である。

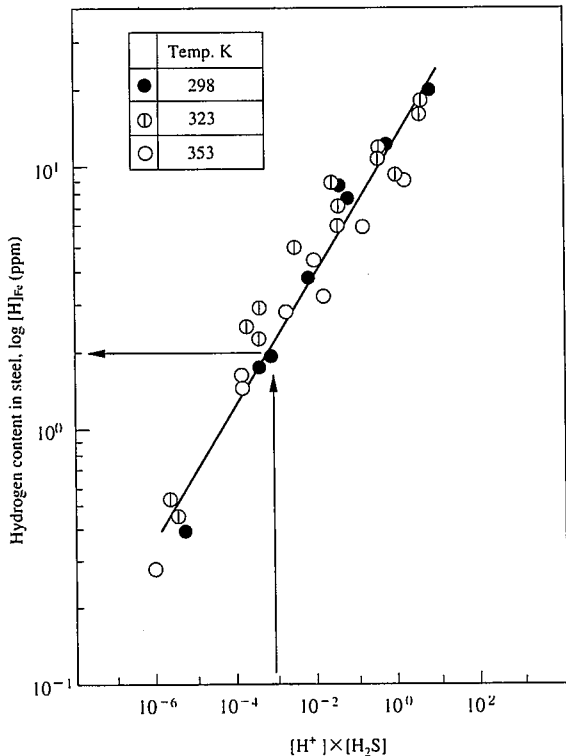


図8 腐食環境と鋼への侵入水素量の関係

$[H_2S]$ は、溶液中の濃度なので、油井環境条件として与えられる硫化水素分圧 P_{H_2S} (Mpa)に置き換えるにはHenryの法則(6)式を適用する。

$$[H_2S] = 10 \times P_{H_2S} \times (K_h \times 34 \times 10^3) \quad \dots\dots (6)$$

ここで、硫化水素の溶解度 K_h は(7)式¹⁰⁾で計算される。

$$\log K_h = 3321/T - 54.14 + 17.11 \log T \quad \dots\dots (7)$$

ここで、T：絶対温度、Kである。

$[H^+]$ についてはpHとして与えられる場合もあるが、そうでないときは硫化水素ガス分圧、炭酸ガス分圧、Clイオン濃度などから推定する必要がある。本システムでは、宮坂によるpH推定法¹⁰⁾を採用している。

3.5.2 耐硫化物応力割れ材料選定法

図9に種々強度水準に焼入れ焼戻し処理を行った耐サワー材料及びAPI鋼種の4点曲げSSC試験結果を示す。腐食環境を $[H]_{Fe}$ で評価

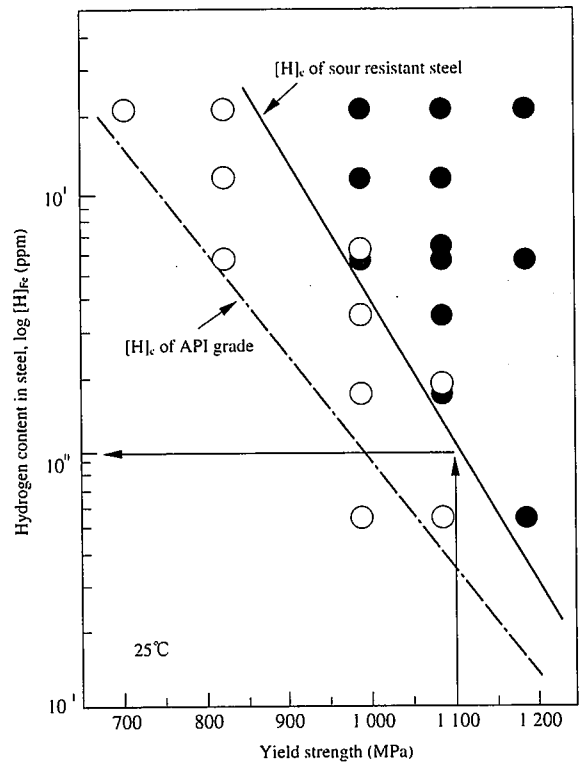


図9 焼入れ焼戻し材料の耐SSC限界水素量

し、割れ発生時の限界水素量を $[H]_c$ とした。 $[H]_c$ は、降伏応力YSの増大とともに低下する。(5)式から得られる腐食環境指標 $[H]_{Fe}$ と限界水素量 $[H]_c$ を比較する。もし、 $[H]_c > [H]_{Fe}$ であればその鋼は当該腐食環境に適用でき、逆の場合はSSCを起こす危険がある。焼入れ焼戻し鋼の耐SSC性能を比較すると、新日鉄耐サワー材110SSは同じ強度水準のAPI110に比べ約20倍の限界水素量 $[H]_c$ を有している。

4. ケーシングストリング設計機能

4.1 マルチストリングデザイン機能

本システムでは、二次元及び三次元坑跡設計が可能である。図10は、5章の例題に用いた単一曲げ坑井の一例である。坑井形状が決まると次はケーシング埋設位置の決定に移る。ケーシングの埋設は図11において、既に埋設してあるケーシング直下の地層強度aが、

使用中の泥水比重**b**より小さくなる前に行う。もし、ケーシングを埋設せずに掘り進めば、増加する地層圧力を抑圧するため泥水比重は更に重くなり、その結果先のケーシング直下の地層は崩壊し逸泥に至る。ケーシングストリングの数と埋設深さは概略はこのようにして決定される。

キックトレランスとは坑内へガスの許容侵入量のことである。この値が大きいほど暴噴に対する安全性は高くなる。図12は、キックトレランスの大きさがケーシング埋設位置に与える影響を模式的に示したものである。坑底からの侵入ガスはドリルパイプと坑壁の間隙を充填しつつ、時間の経過とともに浮力を受け坑口に上昇する。上昇過程のガス柱の圧力は、その底の泥水圧力と等しく、ガス柱頭は高圧になっている。従って、ガス侵入量がキックトレランスより少なければ、ケーシング内にガス柱が到達して事なきを得るが、反対の場合は、ガス圧が地層強度を超えてしまい坑壁の崩壊を招き大惨事につながる。キックトレランスを確保しようとすれば、ケーシング埋設間隔は狭くなりストリング数も増加する。

スリムホールにする早道はケーシング間の隙間を小さくすることであるが、その場合少しのガス侵入に対してもガス柱は高くなるので危

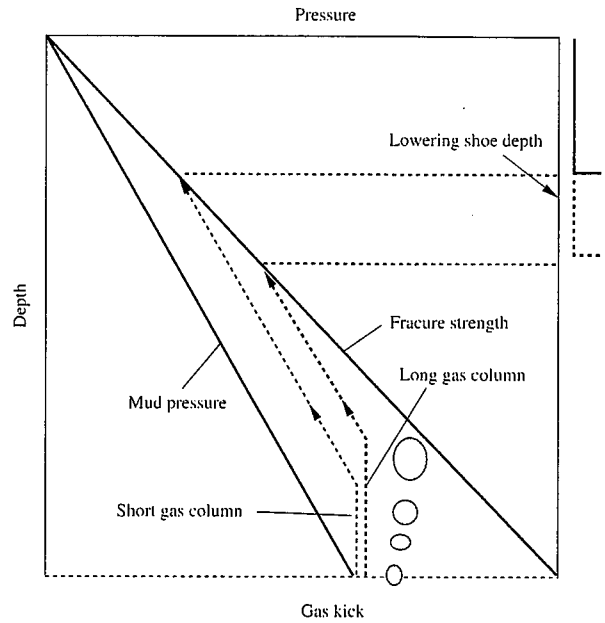


図12 キックトレランス概念図

険な井戸になる。従って、キックトレランスはマルチストリングデザインの不可欠な技術要素であり、鋼管製造メーカーにとってはオーバーサイズ、スペシャルクリアランス油井管仕様と深いかかわりも持つ。

4.2 ストリング設計機能の特徴

第一の特徴は、本システムが摩耗予測プログラム¹¹⁾と連動しているため、ケーシング内面摩耗量推定と摩耗を考慮したケーシングの力学的安全性評価ができる点である。摩耗予測は(8)式を基本原理¹²⁾としている。

$$V = (K/H) \cdot \mu \cdot D \cdot L \quad \dots\dots (8)$$

ここで、V: 摩耗により削り取られる金属の体積、K/H: 実験により測定される摩耗効率、 μ : 摩擦係数、D: 接触長さ、L: 垂直抗力である。

特徴の第二は水平掘りに欠かせないトルク・ドラッグ等の動的な荷重条件に対処するため従来の圧潰、バースト、引張に対する安全性チェックに加え、圧縮、振り、ミーゼス降伏条件に対するチェック機能も付加している点である。しかも、これら動的荷重に対する力学的安全性チェックは、図13に示すようにケーシングストリングのすべての部位に対して、かつ傾斜、湾曲など鋼管が通過するすべての場所の摩擦条件(トルク・ドラッグ)に対して行えることである¹³⁾。この機能が備わっているため、鋼管を上下させる抑留回避作業、又回転を伴う水平部セメンティング作業など、水平坑井特有の荷重シミュレーションが可能となる。

特徴の第三は、上記動的荷重チェックも考慮した経済的ストリング設計機能である。ケーシング費用を最小にするには、荷重条件をわずかに上回る性能の鋼管を適用することである。そこで、本システムでは、場所により荷重条件が異なるケーシングストリングを数区間に分けて、それぞれに最も安い鋼管を採択していくコンビネーションストリングデザイン手法を適用した。具体的には、図13に示したように1本のストリングを30mの微小区間に分割し、すべての微小区間についてストリング下部から上部に向かって静的荷重と動的荷重に対する安全性チェックを行いながら安価な鋼管を割り当てていく方法を工夫している。

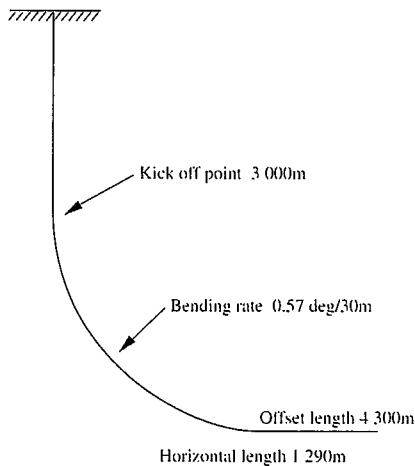


図10 坑跡設計例

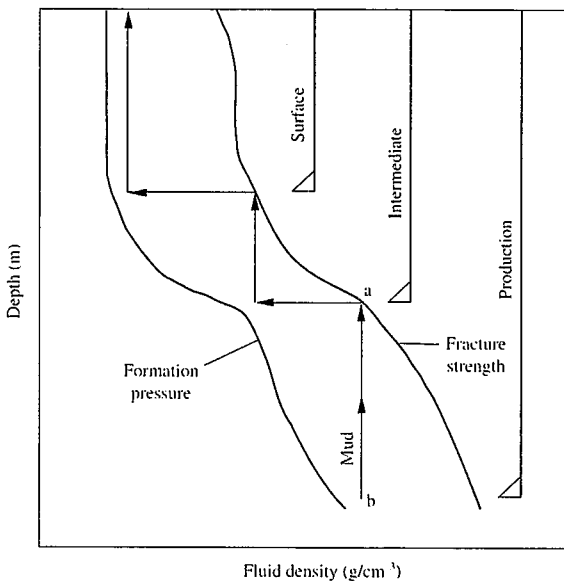


図11 ケーシング埋設位置の決定法

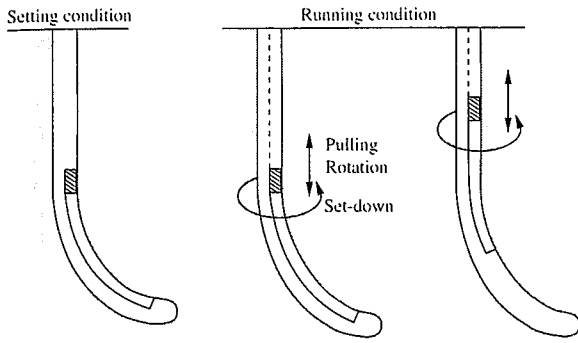


図 13 ケーシングの力学的安全性チェック方法

5. ケーシングデザイン例

図10に示す深さ6 000m、オフセット3 000mの腐食環境水平坑井のケーシングデザイン例を紹介する。

図14にキックトレランス0.16m³(10BBL)と0.32m³(20BBL)のマル

チストリングデザイン結果を示す。ストリング数を比較すると、前者が5本、後者が6本である。その結果、最内側のプロダクションケーシングに外径178mm(7")の鋼管を適用すると仮定すれば、地表ではそれぞれ508mm(20"), 762mm(30")の坑口径となる。結局、安全な油井程、坑径は大きくなり開発コストはかさむ。

1本のストリング設計例として内側から2番目の外径245mm(9-5/8")ケーシングについて検討する。表2は、摩耗の影響、トルク・ドラッグの影響、水素を媒体とした耐SSC材料評価等、本システムの特徴を生かしたケーシングデザイン結果である。表3は、比較のため摩耗もトルク・ドラッグも考慮せず、耐SSC材料選定も温度を基準に行うNACE法を適用した従来のケーシングデザイン結果である。

図15にケーシングストリングに沿った摩耗量の分布を示す。摩耗は屈曲点以下に生じ、最大摩耗量は肉厚の12.3%と予測される。摩耗の影響は、ストリング下部の鋼管肉厚及び強度の相違となって表われている。摩耗による圧潰圧力の減少を補うため高圧潰油井管(新日本製鐵規格95HS, 110HS)が選択されている。

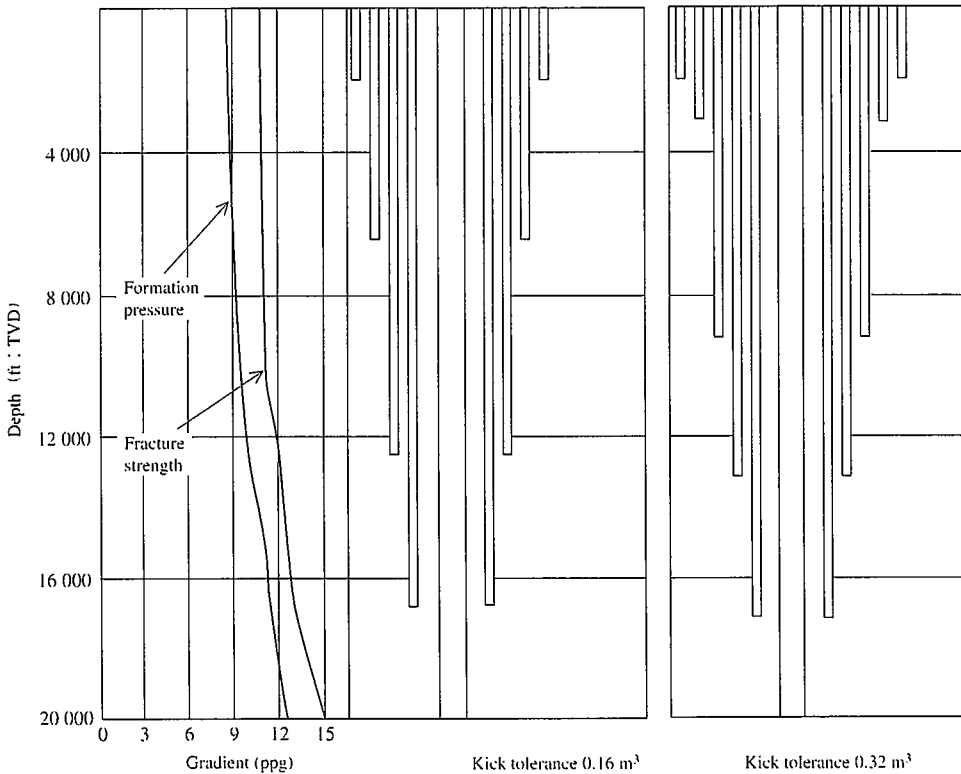


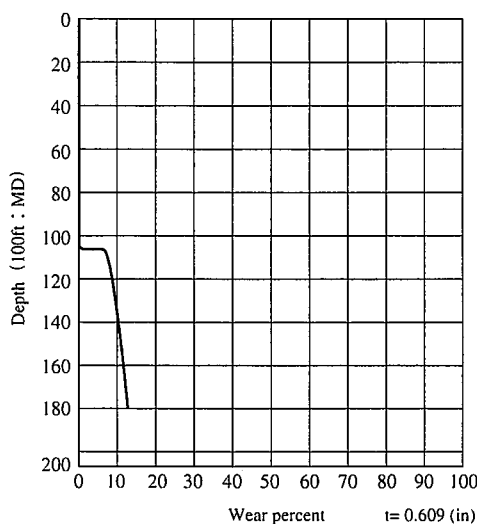
図 14 キックトレランスの異なる油井設計例

表 2 水平坑井特有の荷重条件を加味したケーシングデザイン

NO	Top (ft: MD)	Bottom (ft: MD)	Length (ft: MD)	OD (in)	Weight (lbs/ft)	Thick (in)	Grade	Joint	Type	Cplg OD (in)	Pipe ID (in)	Drift OD (in)
1	0	3 400	3 400	9.625	53.50	0.545	110SS	MTC	Reg	10.625	8.535	8.379
2	3 400	5 900	2 500	9.625	53.50	0.545	N-80	MTC	Reg	10.625	8.535	8.379
3	5 900	9 700	3 800	9.625	53.50	0.545	N-80	MTC	Reg	10.625	8.535	8.379
4	9 700	12 300	2 600	9.625	53.50	0.545	95HS	MTC	Reg	10.625	8.535	8.379
5	12 300	14 900	2 600	9.625	58.40	0.595	95HS	MTC	Reg	10.625	8.435	8.279
6	14 900	17 500	2 600	9.625	58.40	0.595	110HS	BTC	Reg	10.625	8.435	8.279

表 3 従来手法によるケーシングデザイン

NO	Top (ft: MD)	Bottom (ft: MD)	Length (ft: MD)	OD (in)	Weight (lbs/ft)	Thick (in)	Grade	Joint	Type	Cplg OD (in)	Pipe ID (in)	Drift OD (in)
1	0	2 500	2 500	9.625	59.40	0.609	T-95	MTC	Reg	10.625	8.407	8.279
2	2 500	5 000	2 500	9.625	53.50	0.545	T-95	BTC	Reg	10.625	8.535	8.379
3	5 000	7 500	2 500	9.625	53.50	0.545	N-80	BTC	Reg	10.625	8.535	8.379
4	7 500	10 000	2 500	9.625	53.50	0.545	N-80	BTC	Reg	10.625	8.535	8.379
5	10 000	12 500	2 500	9.625	53.50	0.545	95HS	BTC	Reg	10.625	8.535	8.379
6	12 500	17 500	5 000	9.625	53.50	0.545	95HS	BTC	Reg	10.625	8.535	8.379



Casing set depth: Top = 0
Bottom = 17 450 (ft : MD)
Max worn amount : 0.075 (inch) 12.31 (%)
Depth : 17 300 (ft : MD) 16 669 (ft : TVD)

図 15 ケーシングストリングに沿った摩耗量分布

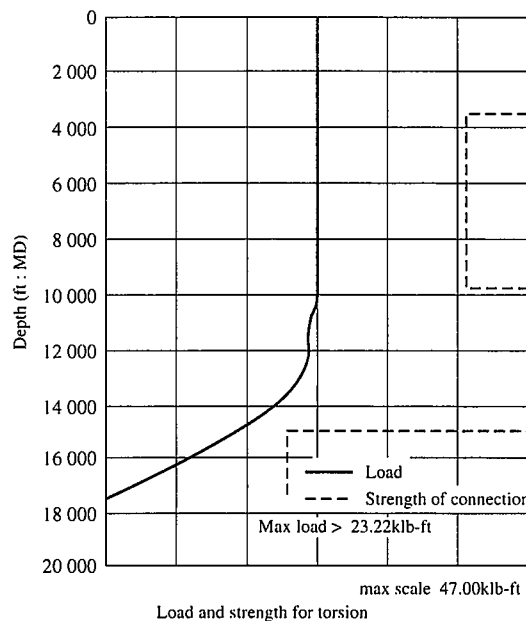


図 16 ケーシングのトルクに対する安全性評価結果

図16はケーシングの回転に伴うトルクの分布と鋼管継手の振り抵抗の関係を示す。4 500m (15 000ft)以下ではトルクが小さいのでAPIバットレス継手(BTC)で十分であるが、上部にいく程トルクが大きくなるので、振り抵抗の高いプレミアムジョイント(MTC)を必要としている。トルク・ドラッグの影響は、継手種の相違となって表われている。

水素を媒体とした腐食環境評価によれば、腐食条件が最も厳しい地表において予測pHは3、耐SSC材料110SSの許容水素量は22.9ppm、これらから(5)式を用いて許容硫化水素分圧を逆算すると、0.3MPa(43.8psi)となる。例題の硫化水素分圧は、0.25MPa(36psi)であるので110SSは適用できることになる。ところが、NACEによれば、温度338K以下の硫化水素腐食環境において利用できる高強度材はAPI規格T95が上限であり、腐食環境を厳密に評価した場合より保守的な材料選択となっている。

最後に、ストリングのコストを比較すると、水平坑井に付随する影響を考慮しない場合(表3参照)は\$382 000、水平坑井と腐食に十分配慮した場合(表2参照)は\$412 000となった。約8%増加しているが、的確に安全性を評価した水平坑井ケーシングデザインが可能となった。また、特殊油井管(プレミアムジョイント、耐サワー、高圧潰)を適材適所に利用した経済的デザインとなっている。

6. 結 論

水平坑井における油井管の実用性能解析機能、耐SSC材料選定機

能、及びマルチストリングデザイン機能を具備したケーシングデザインシステム(JCASING)を開発した。

謝 辞

本発表を快く承諾して頂いた石油公団・石油開発技術センターにお礼を申し上げます。また、システム開発に協力頂いた日鐵運輸(株)に感謝いたします。

参考文献

- 1) Maruyama,K., Tsukano,Y., Ueno,M., Inowaki.R. : ASME Drilling Technology. PG-Vol.65, 205 (1995)
- 2) Kuriyama,Y., Tsukano,Y., Mimaki,T., Yonezawa,T. : SPE Drilling Engineering. SPE24597. 133 (1992)
- 3) 三牧敏太郎, 丸山和士, 井之脇隆一 : 日本機械学会論文集, 61巻 584号A編, 145 (1995)
- 4) API Bul 5C3. Fifth Edition American Petroleum Institute 1989p.8
- 5) Johancsik,C.A., Fricson,D.B., Dawson,R. : Jurnal of Petroleum Technology. p.987 June 1984.
- 6) World Oil. p.103-146 October 1995
- 7) Tsuru,E., Ueno,M., Ogasawara,M., Yonezawa,T. : Proceedings IADC/SPE 27485p.489 1994
- 8) NACE Standard MR0175-96. p.25 1996
- 9) Asahi,H., Ueno,M., Yonezawa,T. : CORROSION. 50(1994) p537
- 10) Miyasaka,A. : CORROSION/92. Paper No.5. 1992
- 11) Casing Wear Model (CWEAR3). Maurer Engineering Inc. 1991
- 12) White,J.P., Dawson,R. : SPE Annual Conference. SPE14325 1985
- 13) Wojtanowicz,K.A., Maidla,E.E. : Journal of Petroleum Technology p.1269 1987