資 料

ボアホールビデオシステムなどによる水溶性
天然ガス井のケーシング腐食調査*

小 山 研 也**

(Received September 20, 1993; accepted September 21, 1993)

Downhole corrosion investigations using downhole video system and
other sonde in natural gas deposit of dissolved-in-water

By

Kenya Oyama

1. はじめに

千葉県下の南関東ガス田における水溶性天然ガス井のケーシング腐食に関するボアホールビデオシステムなどを利用した調査結果について紹介する。関東天然瓦斯開発(株)が現在、千葉県内に所有している採掘鉱区は図 1 のとおりである。

水溶性天然ガス井では自噴の他、ガスリフト、水中モーターポンプ方式による生産方式を採用している。坑井深度 1,500m 以下の自噴井を含むガスリフト井ではケーシングに硬質塩化ビニールパイプを、それ以外の水中モーターポンプ井と坑井深度の深いリフト井では油井で使用する油井用鋼管を使用している。今回紹介するのは後者の油井用鋼管を使用した、特に水中モーターポンプ井の腐食調査についての紹介である。水溶性天然ガスとともに生産されるかん水は、塩分濃度が海水と同レベルであり、出砂などを伴うと腐食速度が異常に高くなる場合がある。当社では、ガス井の坑内状況を調査するために 6 年前からボアホールビデオシステムを導入している。また過去 5 年を振り返ると、横芝地区で、特に水中モーターポンプ井のプロダクションライナー部分に、短期間で腐食により穴が開くトラブルが続いた。そこで、この地区のケーシング腐食調査に重点を置き、ボアホールビデオシステムでの調査と同時に、高分解能坑径測定と高分解能電気測定を実施した。ここでは、それらの調査結

果を紹介する。

2. 水溶性天然ガス井の特徴

2.1 生産流体の性状

日本国内の千葉県で生産されている水溶性天然ガスの採取は、自噴井の他はガスリフトと水中モーターポンプによって行われている。水溶性天然ガスの特徴はガス主成分がメタンガスであり、これがかん水と称される塩分濃度が海水とほぼ同じ地層水に溶解している点である。従って、天然ガスは、地層水を揚水することで生産される。表 1 が南関東ガス田の横芝地区の黄和田層・大原・

図 1 当社稼働水溶性ガス田

* 平成 5 年 6 月 11 日平成 5 年度石油技術協会春季講演会開発・生産部門シンポジウム「石油鉱業における腐食」にて講演

** 関東天然瓦斯開発(株) 茂原鉱業所

浪花・黒滝層を仕上げた水中モーターポンプ3坑井から生産される水溶性天然ガス・かん水の分析結果である。天然ガスの96%以上がメタンガスであり、それに数%オーダーの炭酸ガス、窒素、数ppmオーダーの硫化水素が含まれる。炭酸ガスと硫化水素の含有は地域と仕上げ深度によってある場合とない場合に分かれる。茂原周辺では、ガスの採取深度が深い坑井や、茂原より北に位置する横芝地区、東金地区、養安寺地区で炭酸ガ

スと硫化水素が確認される。かん水の分析結果を見ると Cl^- 19,000mg/l以上となっている。

生産流体の液温は、深度2,000mクラスの坑井でも40℃を超えるケースは希である。

また、ガス水比が $2\text{Nm}^3/\text{kI}$ 程度を境に生産方式を決めており、開発計画立案当初、ガス水比が、この値を超えると判断された場合にはガスリフト方式を、同レベルかそれ以下と推測された場合には水中モーターポンプ方式を採用している。

2.2 水溶性天然ガス井の坑井仕様

南関東ガス田における水溶性天然ガス井で、坑井深度が1,500m以下である場合に硬質塩化ビニルパイプをケーシングとして使用する理由は、プロダクションケーシング内を流れる流体が、前に述べたように塩分濃度が高く、出砂を伴う場合もあることによる。これらの流体に対する耐食性・耐磨耗性については、硬質塩化ビニルパイプは高く、炭素鋼の油井用鋼管は比較して低いこととなる。しかし、水中モーターポンプ井の場合はポンプを設置するに必要な管径の制約上、サーフィスケーシングが $11\frac{3}{4}"$ あるいは $13\frac{3}{8}"$ となるため、油井用鋼管を使用している。硬質塩化ビニルパイプのケーシングは、資材コストも安く、耐食性に優れた管材であるが、管体強度が油井用鋼管の1/10程度と低く、特に圧潰強度が問題となる。トラブルがなく坑井が完成すれば耐用年数は20年を超えるが、施工管理が鋼管と比較して難しく、最近では管径によってはメーカーからの管材の入手が容

表1 水溶性天然ガス・かん水分析結果

	Y-72	Y-74	Y-75
水温 (°C)	27.0	31.8	27.9
pH	7.5	7.5	7.5
Cl^- (g/l)	19.3	19.4	19.2
I^- (mg/l)	90.4	77.9	85.9
Br^- (mg/l)	131	123	121
HCO_3^- (mg/l)	1440	975	1045
Ca^{2+} (mg/l)	168	233	221
Mg^{2+} (mg/l)	583	476	507
Fe (t) (mg/l)	3.37	2.57	3.36
NH_4^+ (mg/l)	293	236	293
SS (mg/l)	673	579	42.8
COD (mg/l)	56.5	48.4	63.7
N_2 %	0.16	0.33	0.22
CH_4 %	96.95	97.53	97.68
C_2H_6 %	0.01	0.01	0.01
CO_2 %	2.86	2.11	2.07
H_2S ppm	2.3	2.0	1.7

水中モーターポンプ井

外吹込方式ガスリフト井

図2 油井用鋼管井坑井仕上げ図

易でなくなっている。

図2が油井用鋼管井の坑井仕上げ図である。図中の左側が水中モーターポンプ井であり、ポンプのセットされる深度区間まではサイズの大きなケーシングとなっている。前述の横芝地区で腐食が難しく問題となっているのはプロダクションライナーの油井用鋼管部である。油井用鋼管はグレードJ-55、短ネジで丸山ネジの物が一般的に使用されている。

深井戸のガスリフト井でもプロダクションケーシングに管径5½"-15.5lbsのJグレードを一般的に使用している。

ガスリフトの方法は、一部ケーシングフローも古い坑井で用いられるが、この地域で一般的に用いられる外吹き込み方式という独特な方法を採用している。このリフト方式は、プロダクションケーシング内にリフト用のチュービングを挿入する代わりに、プロダクションケーシングの編成中にガスリフトポートが付いたショートジョイントを3〜4箇所設け、ケーシング外側にガスリフト用の硬質塩化ビニール製のマクロニパイプを併設する仕様となっている。

ガスリフト井と水中モーターポンプ井両方とも、仕上げ層には孔明管と呼ばれる直径5mmの丸孔を千鳥配列で管体表面積の3%明けた管に、平織のステンレス製金網を砂の粒径に合わせて30メッシュ、60メッシュと80メッシュの1重巻きあるいは2重巻きしたパイプを使用している。

セメンチングは孔明管の設置される深度直上からステージカラーなどを使用して可能な限り、全深度区間セメントでカバーするような仕様としている。トップオブセメントが地表に達しない場合は、硬質塩化ビニールパイプでトップアップジョブを実施したり、計画当初から硬質塩化ビニール製のマクロニパイプをケーシングパイプに併設し多段でセメンチングを行うこともある。

これらの方法は中間遮水と一般的に呼ばれている。

水中モーターポンプ井では、水中モーターポンプは出力37kW、60kW、70kW、150kWのものが利用され、ポンプ能力は出力60kWで揚水量1.20m³/min、全揚程175mである。水中モーターポンプでは通常、5½"のケーシングが揚水管として使用され、ポンプは、この管によって坑口から吊り下げられる。揚水管に使用されるケーシングの内面はエポキシフェノリックによってコーティングされている。水中モーターポンプの設置深度は静水位と動水位から判断され、横芝地区であれば300m前後にセットされることが多い。

また、ポンプ本体とケーシング間のクリアランスが小さいため、エロージョンによるケーシング内面の磨耗を

避けるために、ポンプの定期点検時に設置深度を短管1本分(2〜5m)だけ変える方法を採用している。

3. ケーシング腐食事例

表2は過去27年間における油井用鋼管を使用した当社ガス井における腐食トラブルの一覧表である。一般的に何らかの坑内異常が発生するまで年数が短い、ビデオシステム導入以前は出砂がない限り、キャリパー測定や温度、比抵抗、自然電位測定などでは明確に坑内異常を把握できる場合は数少なかった。主に使用される油井用鋼管のグレードはJであり、炭素鋼である。ジョイントには短ネジの丸山ネジが一般的に用いられる。横芝地区のように開発が完了し、一番短い坑井では生産開始から数年でケーシングに腐食による穴があいたことが確認された事実からすると、5½"-15.5lbsケーシングの肉厚が約7mmであるから、腐食速度は3.5mm/年以上になってしまう。また、坑内異常が確認された場合に必ず異常出砂が起きるわけでもない。

生産方式が水中モーターポンプによる場合、ポンプの定期点検時に比抵抗および自然電位測定その他、坑底埋没深度の測定を実施しているが、この段階で明確に外側に貫通した腐食穴が確認される場合よりも、坑井稼働中のポンプの過負荷などの電氣的なモニタリングにより、初めて坑井異常が確認されるケースが多い。

異常出砂が起きた後に坑内温度測定を実施すると、当然のことながら腐食穴の深度で明確な温度降下が現れる。図3は実際の横芝地区の腐食穴があった場合の温度検層

図3 異常出砂井坑内温度測定結果

表2 水中モーターポンプ井におけるケーシング使用実績および坑内トラブル発生例

地区名	完成年月	仕上げ深度	孔明管仕様	ケーシング編成	セメンチング区間	トラブルの内容
千葉	S. 40. 1	817-1284	5mm. 3%	11-3/4" CSG(355m) 8-5/8" CSG(334-347m) 6" VT(347-1284m)	SURFACE(0-350m). LINER(716-771m)	S. 44年異常出砂. VT損傷時内装. S. 56年電検時温度/圧力異常28mでリークの疑い
	S. 41. 12	755-1307	"	(384m) (348-380m) (380-1307m)	^ 坑内一部(348-360m) (644-715)	S. 42年異常出砂. S. 43年埋設299mで穴あき. 9-5/8" CSG挿入
	S. 43. 1	1444-1843	"	(445m) (425-440m) (440-1843m)	^ 坑内一部(425-440m) (185-445m)	H. 2年BHTVによる坑内調査により439-445mにて穴と判断内装管補修
	S. 43. 12	769-1901	"	(495-769m) 7" CSG(769-1901m)	^ 坑内一部(425-440m) (305-502m) (655-747m)	S. 45年埋設調査1215m. S45-46年後継. 1077mにてケーシング曲がりあり. 電気防食実施
	S. 45. 1	1070-2003m	5mm. 3%	(487-1070m) 7" CSG(1070-2003m) 5-1/2" CSG内装(1070-1306m)	(241-495m) (974-1048m)	H. 1年埋設1952m
浜野	S. 44. 11	1056-2418m	"	(504m) (498-1056m) (1056-2418m)	(280-504m) (842-1033m)	H. 2年埋設1288mで停管
	S. 45. 4	1072-2312m	5mm. 3% 30" X 1/2"	(499m) (491-1072m) (1072-2312m) 5-1/2" CSG内装(1072-1286m)	(244-499m) (990-1049m)	S. 49年埋設1276m. 泥岩採取S. 63年異常出砂390mまで埋設. 穴あき48m
	S. 45. 7	979-1893m	5mm. 3% 30" X 1/2"	(466-979m) 5-1/2" CSG内装(979-1893m)	(246-476m) (852-956m)	H. 1年埋設1245m停管
	S. 43. 5	1097-1937m	5mm. 3%	(430-447m) 6" VT(447-1937m)	(195-451m) (1012-1053m) ^ 坑内一部(431-447m)	S. 50年異常出砂. 5/8" CSG 6" VTサブ穴あき内装管挿入H. 2年埋設. 1900m
横芝	S. 43. 6	495-1402m	5mm. 3%	11-3/4" CSG(450m) 7" CSG(439-448m) 6" VT(448-1402m)	^ 坑内一部(439-450m) (193-450m)	S. 63年埋設1353m
	S. 43. 10	469-1411m	"	(454m) (446-456m) (456-1411m)	^ 坑内一部(446-454m) (233-454m)	S. 60年BHTV実施SURFACE CASING異常無し. H. 2埋設1382m
	S. 44. 1	472-1416m	"	(454m) (446-456m) (456-1416m)	^ 坑内一部(446-454m) (216-454m)	S. 60年BHTV実施246mまで異常なし. 286m穴あき. 290m以深. 坑内付着. H. 2年埋設1395m
	S. 43. 8	475-1395m	"	(450m) (441-450m) (450-1395m)	^ 坑内一部(441-450m) (126-450m)	H. 2年埋設1333m
	S. 43. 7	465-1350m	"	(451m) (442-451m) (451-1350m)	^ 坑内一部(442-451m) (213-450m)	S. 60年異常出砂/埋設388m 7ヶ所. 穴あき409m. H. 2年埋設1232m停管
	S. 59. 5	472-1331m	"	(410m) 5-1/2" CSG(398-472m) ^ 坑内一部(472-1341m)	(110-410m)	H. 2年埋設1286m
	S. 59. 4	515-1307m	"	(454m) (442-1335m)	(154-454m)	H. 2年埋設1286m
	S. 59. 4	519-1421m	30" X 1/2"	(477m) (465-1450m)	(177-477m)	H. 2異常出砂 BHTV実施 474, 475, 506, 594-595m穴あきH. 2年埋設1421m

結果である。

カメラによる坑内調査深度は前述の事前調査の結果を踏まえて実施される。

近年、特に問題となった横芝地区の場合は、昭和59年代に開発された水中モーターポンプ井の5 1/2" - 15.5 lbs, J-55, STC, 8RDのプロダクションライナー区間に発生した腐食穴のトラブルであった。3坑井開発した中で、1~3年で最大で横120mm, 縦80mmの腐食穴が確認された事例を始め、2坑井でケーシング腐食により異常出砂が起き、坑井開発後5年以内に改修作業を余儀なくされた。平成3年に同地区に同仕様の坑井開発計画が立案され、この腐食対策を考える上で腐食状況の確認や腐食原因の調査が急務となった。

4. ケーシング腐食調査

4.1 ボアホールビデオシステムによる腐食調査

4.1.1 ボアホールビデオシステム

当社では昭和62年に、主に坑井の坑内状況を確認するためにボアホールビデオシステムを導入した。このシステムは、現在のシステム導入以前に外注で同様の坑内調査を依頼した際に、そこで得られた坑内情報の多さに注目し、当社の仕様に合わせてQI社で開発製作したものである。特にカラー映像での坑内調査についての要望が当社内で強く、新規導入に至った。

図4はボアホールビデオシステムのシステム概略図である。ビデオカメラから送られてくる映像は、地上の観測車内のモニターで観測されると同時にビデオテープにて収録される。また、ビデオプリンターが接続されて

表3 ボアホールビデオシステム仕様

1. 対象坑径	(小坑径用) 3" ~ 10" (大坑径用) 6" ~ 20"
2. 仕様温度	-5~50℃
3. 耐圧性能	200kgf/cm ²
4. ケーブル	φ19×1050m
5. 遠隔操作	レンズ焦点・絞り、カメラ旋回他
6. 画像収録	ビデオテープ、ビデオプリンターによるラッシュプリント
7. 画面出力	フルカラー画像(直視・側視)、深度、スケララーによる寸法測定値
8. 搭載車両	専用特殊4トン搭載車

おり、その場でラッシュプリントを作ることも可能である。カメラ先端にはミラーが付いており、ミラーの作動により側視と直視に切り替えが可能であり、管壁方向と坑底方向の観測が可能である。表3にボアホールビデオシステムの性能を記載した。ケーブル能力は深度1,000mであり、ビデオカメラは観測対象坑径により2種類ある。側視・直視の構造が一部異なるが小坑径用カメラで3~10"程度、大坑径用で6~20"程度のケーシングが観測可能である。耐圧性能は200kgf/cm²、最高使用温度は現状で50℃である。現在では当システムは専用の観測車両に搭載され、検層車と同様に井戸元まで搬入される。

4.1.2 ボアホールビデオシステムによる坑内調査結果

ビデオカメラ用ケーブルの能力から、測定可能な坑井深度は1,000mと浅いが、この坑内調査により得られる

図4 ボアホールビデオシステム

坑内状況のデータ量は相当量増えた。特に、自社で当システムを購入後、坑内調査を実施し、坑内状況をカラー映像で確認できるようになってからは、色による様々な識別が可能となった。特にモノクロの場合に陰影がすべて腐食穴に見えるような状況は大幅に改善された。現在までに20坑井以上の坑井の坑内調査を実施した。坑内調査ではガスリフト井・水中モーターポンプ井であれ、ケーシングの内面にスケールが付着している場合が多い。当社の生産水の分析結果からスケールインデックスを試算すると高い地域で0.6~0.9という値になる。この値と生産水量から、揚水量の多い水中モーターポンプ井の場合について生成される炭酸カルシウムの量を試算すると日量百kg以上のオーダーとなり、相当量のスケールが生成されることとなる。

図5~8が実際のビデオカメラの撮影画像をビデオプリンターで出力した写真である。

プリント写真の解像度はあまり良くないが、実際のビデオ画像ではこれ以上に鮮明である。

実際にカメラで坑井内のスケールの生成状態を観察してみると、表面が滑らかで緻密である場合や、スケール表面が何らかの理由で剥離され、非常に凹凸の激しい場合もある。図5では生産開始後15年経過している水中モーターポンプ井の11 $\frac{3}{4}$ "-54lbsのケーシング内面の状況である。深度334mとポンプ設置深度より深い深度で坑底に向けて撮影した直視画像で、画像の左端と坑井の中央に見られる白い円形のは天然ガスの気泡である。次の図6は別のポンプ井の側視で管壁を撮影した画像である。表面の白い皮膜は分析の結果、炭酸カルシウムのスケールであり、密にピッチングが生成している状況が分かる。実際の画像サイズは約縦73mm、横105mmである。腐食が進行するとスケールの皮膜が全面に剥離して、直接金属表面が生産流体にさらされるようになってくる。図7はその途中過程の状態と判断される。図7の黒い部分がケーシングの地肌と判断される。

図6および図7もケーシングのサイズは11 $\frac{3}{4}$ "である。スケールの生成・剥離状態が腐食に関与しているのも事実のようである。実際、腐食速度が年間3.5mm/年以上である横芝地区の水中モーターポンプ井の5 $\frac{1}{2}$ "プロダクションライナーの内面腐食も、スケール皮膜の剥離した箇所から楕円状に腐食範囲が広がったと推定される状況が確認されている。スケールの皮膜が剥離して、その面積が広がり、さらに腐食が進行するとピッチングが起きている面積も広がり、最終的にはクレーターのような状況から外面に貫通する腐食穴ができたことになる。

図8は同じくポンプ井の5 $\frac{1}{2}$ "プロダクションライナー

の腐食穴の画像である。

中央上の白い点2つは、照明用ハロゲンランプの光源がミラーに反射してできたものである。深度は505mであり、画像の上から2/3は腐食穴である。そこに泥岩ないしセメントの薄片が挟まった状況である。

スケーラーで測定したところ、横約120mm、縦80mmの非常に大きな穴であった。

画面の腐食穴周辺のケーシングの肉厚を見ると、相対的に非常に薄くなっているのがビデオモニターでは確認できた。実際この場合も異常出砂が起きるまで腐食が進行していることは推定できず、ビデオシステムによる坑内調査で初めて腐食が進行していることが確認された。

図9は5 $\frac{1}{2}$ "孔明管部の側視画像である。この写真のみモニターの写真撮影画像である。深度は608mで孔明比3%、直径 ϕ 5mmの孔明の孔が写真下側に2個見える。実際の画像実寸は横約60mm、縦42mmである。画像は拡大されているので腐食状況が強調されて見えるが管の内面表面が荒れている状況が分かる。

ビデオシステムによる腐食調査により、現象は確認できるものの、原因が明確に分からない事柄に、同径・同管種のケーシングの腐食状況に、区間により腐食の程度が大きく異なる場合があることが挙げられる。内面腐食の場合、腐食環境が同じであれば、同様の腐食が起きる可能性が高いが、明確に深度区間により管壁の表面の腐食の程度が違うので、何らかの要因があると推定される。腐食の起きていない深度区間では緻密なスケールが生成され、内面が滑らかである。一方、内面腐食が激しい深度区間では、スケールが100%近く剥離して炭素鋼の表面が直接、生産流体と接触する状態となってしまう、最終的にはある箇所に貫通した腐食穴ができてしまう場合があると推定される。当社で一般的に使用される短ネジ、丸山ネジのジョイントでは、5 $\frac{1}{2}$ "ケーシングでは、カップリング内のピンエンド間がパワータイトで25.4mm程度開く仕様であるが、このジョイント部分を観察すると、このジョイント部の内径が変化している部分を挟んでスケールの剥離が進む傾向が見られる。ケーシング内面に生成されたスケール皮膜が剥離していない坑井でも、ジョイント部になるとスケールの剥離など内面の凹凸が増える状態となる場合が多い。このことは以前から言われていたように、内径の変化のある部分では生産流体の流れに乱れが生じ、スケールの剥離や腐食の進行に大きく関与していると判断される。腐食が激しい坑井では、上流側のピンエンドが腐食により形状が変化している場合が多い。極端な場合はピンの部分が一部欠損している場合がある。

傾向として、ジョイント直上の数十cm以内に内面腐

図5 水中モーターポンプ井坑内直視画像
11 ¾" CSG, 深度334m
内面にスケールが付着し凹凸が激しい状況

図6 水中モーターポンプ井坑内側視画像
画像実寸 X=105mm, Y=73mm
ケーシング内面全体にスケールが付着
ピッチングが出来ている状況

図7 水中モーターポンプ井坑内側視画像
画像実寸 X=105mm, Y=73mm
白い部分: 炭酸カルシウムのスケール
黒い部分: ケーシング地肌

図8 水中モーターポンプ井坑内側視画像
画像実寸 X=60mm, Y=42mm
5 ½" プロダクションライナー部腐食穴, 右上側に斜めになっているのは泥岩もしくはセメントの小片と判断される

図9 水中モーターポンプ井坑内側視画像
画像実寸 X=60mm, Y=42mm
5 ½" 孔明管部下側の丸い穴は直径φ5mmの孔明

図10 高分解能坑径測定結果出力

食の激しい箇所がある場合が多いことも確認されている。

ポンプ井のサーフィスケイシングでは、ポンプ設置深度とそれ以深の区間の内面の凹凸は確認されるが、ポンプ設置深度より浅い区間では、ケーシング内面の凹凸はほとんど無い。

4.2 高分解能坑径測定・高分解能電気測定結果

高分解能坑径測定は1坑井、電気測定は2坑井で実施された。各測定は、ボアホールビデオシステムでの測定結果では理解できない次の項目を確認するために行われた。

- ① 腐食の進行が内側からであるのか、あるいは外側からであるのかの判断
- ② マクロセルの有無とその場合のケーシング腐食速度の確認
- ③ 電気防食の必要性の有無

これらの測定はシュルンベルジェ社の坑内測定器によって行われた。高分解能坑径測定はUSIT (Ultrasonic Imager Tool) とよばれる超音波を利用し、測定項目としては坑径の他に反射波の周波数からケーシングの肉厚も分かるようになっている。このゾンデはセメンチング状況の把握に使用されるものであるが、コロージョンのインスペクションモードもある。原理的にはケーシングの内径と肉厚が分かれば外径も分かることとなり、これらがイメージとして表示される。図10がUSITで得られたデータをイメージ処理したアウトプット例である。このログでは高分解能モードで測定垂直方向で0.6" (約15.2mm) 円周方向で5°の分解能となる。ここでは $5\frac{1}{2}$ "-15.5lbs短ネジケーシングの内径測定結果である。深度は511~513mの2m間であり、深度512mにジョイントがある。ジョイントを境に内径測定結果に変化があり、上側のケーシングの内径の拡大している箇所に方向性があることが分かる。

高分解能電気測定: CPET (Corrosion and Protection Evaluation Tools) では約2mごとの定点測定での電圧測定とケーシングの抵抗値から腐食電流を測定するものである¹⁾。これらの結果として次のことが確認された。

- ① 水中モーターポンプ井の設置深度区間では内径の拡大がある。
- ② 腐食は内面、外面の両側から起きているが内面の腐食が激しい。
- ③ 各ケーシング(シングルジョイント)間や深度区間により内面腐食の状況は大きく異なる。
- ④ ケーシング内面のスケールの生成状況は同一坑井でも様でない。
- ⑤ 外面腐食の原因となるマクロセルが砂層~泥岩層

間でケーシング外面にできており、マクロセルの形成は地層の数十m単位の砂層・泥岩層の層状と対応している。

5. 考 察

5.1 炭酸ガスの分圧

横芝地区Y-75号井を例にすると、炭酸ガスのモル濃度は2.45mol%，坑底から水中モーターポンプの設置深度までの静水圧は136~21atm、坑内温度は40~28℃従って炭酸ガスの分圧は3.3~0.5atmと変化する。

Waad & Williamsの式から腐食速度を試算すると0.8~4.7mm/年(水中モーターポンプ設置深度~坑底)となる。この数値からすると坑底に近づくほど分圧と温度が上がるので腐食速度は大きくなるはずであるが、このことは坑内調査の結果とは一致していない。仕上げ区間が何百mにもなっているので各仕上げ層の産出状況と関係があると推定され、単純に炭酸ガス腐食が主原因と断定するに至らない。

5.2 フローパターン/流速

日本オイルエンジニアリング株式会社のシミュレーターで横芝地区の水中モーターポンプ井のフローパターンを計算していただいたところ、気泡流(Bubble flow)~間欠流(Intermittent flow)であり、流速はサーフィスケイシングで0.3m/sec、プロダクションライナーで1.3~1.4m/secであった。当該地区のポンプの電流値は安定しているので、気泡流と推定される。

5.3 腐食原因の推定

現在のところ、腐食速度が高く問題となった横芝地区に関する最終的な腐食原因の断定には至っていない。また、内面腐食が外面腐食と比較して激しいという判断になったが、実際に腐食により穴が開いた深度区間を見ると、その周囲の内径は異常に拡大していることは事実であるが、最初のピンホールがどちら側からできたのか判断できない。局部的に内面腐食が進行した理由を考えると、外面から貫通に至る最初のピッチングができて、その腐食穴から多量の出砂が起きたことによってケーシング内面がサンドブラストされてスケール皮膜が剥離され、同時に出砂によるエロージョンによって内径の拡大が起きた可能性も全面的に否定はできない。

従って、現状では次の要因が複合してケーシング内面の腐食速度が急激に速くなることしか言及できていない。

- ① 炭酸ガス
- ② 流速
- ③ 出砂によるエロージョン
- ④ 塩素イオンによる不動態皮膜の破壊

- ⑤ 乱流, 気泡などによるスケールなどの表面皮膜の破壊
- ⑥ 局所的な金属組織の不均一

6. 終わりに

前述のように, 今回のボアホールビデオシステムなどによる油井用鋼管井の坑内腐食状況調査では, 坑内状況の確認に留まり腐食原因の把握まで至っていない。

そして, 今回の腐食調査事例は水溶性天然ガス井に限った事例であり, 特に水中モーターポンプ井のケーシング腐食が特殊な例であるかもしれない。また, ビデオシステムによる坑内調査を成功させる条件として映像を鮮明に撮影するためには, 坑内流体を清水に置換しなければならない点や, 現状では坑口に圧力がかかった状態での

坑内調査は不可能な点など改善すべき問題点は多い。

しかし, 逆に坑内状況をカラー映像で目視同様に確認できることも事実である。この調査方法によって坑内状況に関する情報量が大幅に増え, ボアホールビデオシステムはケーシング腐食対策や坑井改修方法の立案など様々な坑内トラブル解決に役立つ有効な坑内調査機器の1つであるのは確かなようである。そして, 前述の当システムに関する技術的改善テーマも近い将来, 何らかの形で解決することも不可能なことではないと判断している。

文 献

- 1) 佐々木弘太郎・新名伸好・武田仁郎・D. H. Davies, 1990: 高分解能電気測定による坑井ケーシングの腐食防食評価. 石技誌, 55(6), 393-404.