講 演

近年 JDC が経験した新規技術・機器の適用事例に関する報告*

谷 和 明**

(Received August 11, 2006 ; accepted September 15, 2006)

Applications of the new technologies – JDC's experience

Kazuaki Tani

Abstract : The drilling technologies are progressing day by day and technical learning is one of the challenges for drilling contractors. This paper outlines some new technologies such as liner drilling, riser cap drilling and solid expandable tubular that JDC experienced, and discusses their advantages and potential operational problems.

Key words : liner drilling, riser cap drilling, solid expandable tubular

1. はじめに

近年、掘削技術は日々進化を遂げており、ドリリングコントラクターにとって、新規技術のキャッチアップおよび習得が重要な課題の1つである。本稿では、ここ数年の掘削請負業務を通して日本海洋掘削㈱ (以下 JDC) が経験した新規掘削技術のうち、ケーシング/ライナー掘削、ライザーキャップ掘削、ソリッドエクスパンドブルチューブラーについてその適用事例を報告する。

2. ケーシング/ライナー掘削の適用事例

セミサブ型掘削リグにおいて、9-5/8" ケーシングライナーおよび 12-1/4" ビットによるケーシング掘削が実施された。この作業は当初ガス層上部の帽岩や油層を安全に掘り抜くために計画されたものであったが、結果的に掘削中ガスの検知がないまま油層を掘り抜く前に終了した。

2.1 ビットの特徴

採用されたシステムは、ケーシング先端にビットを取

り付け、ケーシングストリング全体を地上から回転させることによって掘削するタイプのライナー掘削システムである。

ビットの形状は、人工ダイヤモンドチップを PDC ビットのようにケーシングシューに取り付けたような形状をしている (図1)。このカッター部分は、セメンチング前にボールを投げ込み加圧することにより内部のスリーブ (ノーズ) がスライドし、カッターのブレードが外側に開く構造となっている (図2)。押し出されたノーズは次の掘削セクションの 8-1/2" ビットで容易に掘り抜くことができる。

図1 ビットの形状

*平成18年5月31日、平成18年度石油技術協会春季講演会作井部門シンポジウム「新規技術と研究の現状」で講演 This paper was presented at the 2006 JAPT Drilling Symposium entitled "Current Status of advanced technologies for drilling operation" held in Sendai, Miyagi, Japan, May 31, 2006.

**日本海洋掘削㈱ Japan Drilling Co., Ltd.

図2 ノーズがスライドした状態のビット

2.2 作業実績

今回のライナーの降下手順および降下速度は、通常のライナー降下と同様であった。ライナーを降下後、槽下にてハンガーアセンブリを接続し、ライナー内部を掘削泥水で満たした。事前確認作業として、トップドライブシステム（以下TDS）と5"ドリルパイプ1スタンド分をハンガー上に接続し、ハンガーをライザー内に完全に下げ、ポンプレートを徐々に上げながらそれぞれのレートにおけるポンプ圧力を記録し、さらにTDSでストリングを回転させながら、いくつかのレートとTDS回転数におけるポンプ圧力とトルクを記録した。この時、ポンプ吐出量 600 gal/min, ポンプ圧力 1,500 psi（ハンガー設置圧力の約半分）を超えないよう注意を払った。ポンプレートおよびTDS回転数、トルクデータ取得後ケーシング管内での上げ下げ荷重も記録した。その後、ライナーを掘進開始深度まで5"ドリルパイプを用いて降下するが、これは通常のライナー降下作業と同じである。

ケーシングの先端に取り付けたビットが坑底に達したら十分に循環を行い、坑内の泥水比重が均一になるように調泥した。ストリング回転時の13-3/8"ケーシングとハンガーとの干渉をモニターするために、シェイルシェーカーには金属の上がり具合を常に把握できるようマグネットを設置した。

掘進開始は通常のPDCビットと同じ要領で開始し、トルクとポンプ圧力に注意しながら徐々にビット荷重、TDS回転速度、ポンプレートを上昇させて掘進を開始した。この時、ポンプ圧力が3,000 psiを超えるとハンガーがセットしてしまうことがあるので、ポンプ圧力の変化

に十分注意が必要であった。

目的深度まで掘削後、ホールクリーニングのために循環し、セメンチングヘッドを接続した。ケーシング先端のビットに内蔵されているノーズの張り出しを考慮して坑底より約2 m 離し、1-3/4"のボールを投下、ボールの降下時間を待ちポンプ圧力を見ながらノーズが押し出される2,300 psi まで昇圧を試みたが、圧力は上昇しなかった。最終的に1,240 psi までしかポンプ圧力は上がらず、ノーズを押し出すことはできなかった。これは、掘削中にシートに対し長時間にわたり高レートでポンプし続け、シート部分がウォッシュアウトされたためにボールがシートできなかったものと思われる。

次にハンガーセットのため2-1/8"のボールを投下し、ボールがシートに到達する時間を待ち、ポンプ圧力を2,400 psi まで上昇させた。その後ハンガー設置を確認するため、ストリングの上げ下げを行った。この作業はハンガースリップが効いたことを確認するまで、200 psi ずつポンプ圧力を上げながら繰り返し実施した。ポンプ圧力を3,200 psi まで上昇させストリングを上下動させていたところ、突如ポンプ圧力が0になりハンガーセットは失敗した。この時点でハンガーによるライナーの設置は不可能になった。

このままセメンチングを実施するにはライナーを坑底に着底させるしか方法はなくなったが、着底後のビットノズルでの循環の不具合を考慮してライナー設置を諦め、ライナーをすべて回収することになった。

回収したハンガーアセンブリは、バッカー部分およびスリップ部分共に傷1つない状態であった。このことから、スリップはどのポンプ圧力域でも作動しなかったようである。また、ビットはノーズオープン状態であることも予想されたが、内部を点検したところ作動した形跡は見られず、ジェットノズルが2個紛失していた。内部に残留していると思われた1-3/4"ボールは影も形もなく、ボールはウォッシュアウトされ、飛んだビットノズルの穴から抜けてしまったものと思われる。

2.3 ライナー掘削作業のまとめ

今回、ライナー掘削後のライナー設置作業が不成功となった原因として、以下の項目があげられる。

- ① 長時間の循環によるボールシート部分のウォッシュアウト
- ② ボールシートの耐久性および材質の問題
- ③ ボールが何らかの原因で破損した

また、上記パーツがもともと不良品であった可能性も否めない。今回採用されたケーシング（ライナー）掘削システムは、ワイヤラインロギングを実施することはないが、ワイヤラインロギングが必要でない開発井な

どでは通常の掘削作業とほとんど変わらず、非常に安全で効率的なシステムであると考えられる。

3. ライザーキャップ掘削の適用事例

ライザーキャップは、そもそもブラジルの Petrobras 社が中心となり、Amerada Hess 社、BP 社、ExxonMobil 社そして Weatherford 社による合同プロジェクトにより大水深用に開発されたものである。逸泥層、低圧層、ガス層などの掘削、油・ガス層へのダメージ回避を目的として使われるアンダーバランス掘削手法を海洋掘削に応用したものと位置づけられる。また、近年よく耳にするようになった Managed Pressure Drilling (MPD) の一種ともいえる。

ライザーキャップ掘削は 2000 年にブラジルの Campos Basin でセミサブ型掘削リグを用いてテストされ、その後改良を重ね、現在に至っている (図 3)。

3.1 作業計画

ライザーキャップを使用する目的は、低圧層を安全に掘削するためであった。当該坑井のターゲット層は逸泥層であり、オフセット坑井では 2 度の大量逸泥を起こしていた。このことから、地層圧とバランスが取れる泥水比重を用いてニアバランスで掘削したいというオペレータの意向であった。

ライザーキャップはストロークジョイントのインナー

図 3 ライザーキャップシステム

(出典: <http://www.weatherford.com/>)

図 4 アダプタースプール

バーレル上に据え付けるが、サービス会社がライザーのアダプタースプール(クロスオーバー)を持っていなかったことから、JDC が所有していたライザーパイプのボックスコネクター部をサービス会社に提供してアダプタースプール (図 4) が製作された。設置手順は以下のとおりとなっている。

- ① 通常のライザーシステムからベルニッブル、フローラインを取り外す。
- ② ストロークジョイントのインナーバーレルをたたむ。
- ③ ストロークジョイントのインナーバーレル上に、クロスオーバー、Rotating Control Head (以下 RCH) ハウジング、フローラインフランジ、RCH を取り付け。
- ④ フローラインフランジに接続したフローラインスプールをラバーホースで三相セパレータに接続する。
- ⑤ 3 相セパレータからシェーカーまでラバーホースを設置する。ガスはバーナーラインへ接続する。
- ⑥ ドリルストリングを降下する際に、RCH 内にベアリング/シールアセンブリを設置する。

準備に時間がかかるが、通常のシステムからの切り替えは容易である。稼動中は、ライザーパイプ最上部のストロークジョイントのパッカー部分に 400psi の圧力をかけておくだけである。

3.2 作業実績

9-5/8" ケーシング設置後、ライザーキャップ設置作業が開始された。しかし、乗船したエンジニアはセミサブ型掘削リグでのオペレーションの知識が十分でなく、また資機材も整っていなかった。さらに当日の海気象条件下でのストロークジョイントの動揺を観察し、この状態ではライザーキャップを設置してオペレーションす

ることは難しいと判断した。このため、結局通常通りに8-1/2" 坑を掘削することになった。ライザーキャップの採用を見送った最大の要因は、準備不足および経験不足である。

4. ソリッドエクスパンドブルチューブラーの適用事例

セミサブ型掘削リグにおいて、14-1/2" 坑掘削後、11-3/4" Solid Expandable Tubular (以下 SET) を降下し、セメント充填後、SET をエクspansionさせる作業を実施した。オフセット坑井のデータから、本坑井においても逸泥および高压層が予測されていたことから、SET が採用されることとなった。

4.1 SET 作業計画

ケーシング計画は、13-3/8" ケーシングを設置後、12" × 14-1/2" バイセータービットを使用して掘進後に 11-3/4" SET を 12-1/8" にエクspansionさせて設置、10-5/8" 坑を掘進するというものであった。

SET 設置の手順は、SET 降下→セメント送入→ラッチダウンプラグ投下→ポンプ開始、昇圧→エクspansion、である。

SET は圧力と機械的な力で膨らませるケーシングである。図5に SET のうち Openhole Liner (以下 OHL) システムの編成を示す。SET を目的の径にエクspansionするためのソリッドエクspansionコーン (Solid Expansion Cone) がランチャー/フロートアッセンブリ (Launcher/Float Assembly) 内に格納されており、ソリッドエクspansionコーンはセーフティジョイントを挟んでドリルストリングに接続されている。ランチャー/フロートアッセンブリ上にエクspansionされる SET が連なる。そしてトップにはアンカーハンガージョイントが編成され、ケーシング内部と外部 (ライナーハンガー部) をシールする。目的の深度へ降下終了後、OHL システムであればセメンチングを開始し、後押し

図5 OHL System Assembly

(出典: <http://www.enventuregt.com/>)

でラッチダウンプラグをポンプし、ラッチダウンプラグがフロートへ到着した後、サーフェスからセメンチングポンプなどでドリルストリングを経由してランチャー内を昇圧させる。ドリラーがストリングを張り上げるとソリッドエクspansionコーンも上昇し、SET はソリッドエクspansionコーンの外径分がエクspansionされる。

4.2 11-3/4" SET 編成

・OHL システム

今回使用した SET の仕様を表1に示す。本 SET はエクspansionする際に予熱を必要とせずにエクspansionできる鋼管で、シームレスパイプではなく、電縫

表1 11-3/4" Set Data

Pre-Expansion Specifications		Post-Expansion Specifications	
Grade	LSX-80	Optimum Torque	4,000 ft-lb
Nominal Yield	80,000 psi	Collapse	1,050 psi
Nominal Weight	47 lb/ft	Nominal Weight	48.0 lb/ft
Nominal OD	11.750 "	Nominal OD	12.108 "
Nominal ID	11.00 "	Nominal ID	11.330 "
Drift ID	10.975 "	Drift ID	11.217 "
Wall	0.375 "	Wall	0.371 "
Internal Yield	4,468 psi	Internal Yield	4,290 psi
Launcher OD	12.191 "	Maximum Overpull	118,000 lb
Max Running Torque	6,947 ft-lb	Maximum Set Down Liner Weight	100,000 lb

管である。帯鋼を溶接する技術で、薄肉管の製造が容易で寸法精度が高く、溶接部は熱処理され、母材とほぼ同程度の硬度が得られる。エクスパンション前の状態で材質は API L-80 に相当すると明記されている。接続はエクスパンション中にピンのネジ先端がエクスパンションコーンへ与えるダメージ防止のためピンアップである。SET はエクスパンション前の外径に対して 5～16% (エクスパンション比率) エクスパンションできる。SET の肉厚はエクスパンション比率によるが、2～5% 減少する。

主要構成部品の概要は以下のとおりである。

- ・コネクションスリーブ (Connection Sleeve)

SET の接続部に取り付けられるカップリング。外径は 12-1/8" で肉厚は非常に薄い。ネジ部のシール確保、ダメージ軽減を目的とする。

- ・ランチャー (Launcher)

ランチャーはエクスパンションアッセンブリ (Expansion Assembly) とフロートアッセンブリ (Float Assembly) で構成されており、SET 最下部に位置する。通常のケーシングシュー同様にフロート機能を備えている。ランチャー内部には、SET の内径より外径の大きなソリッドエクスパンションコーンが組み込まれており、エクスパンション作業でソリッドエクスパンションコーンが SET 内部を通過することで、エクスパンションコーン外径分、SET がエクスパンションされる。ソリッドエクスパンションコーン上部はテーパ処理されており、テーパ部と SET 内部がメタルメタルシールでエクスパンション作業中の差圧をシールする。

- ・ラッチダウンプラグ (Latch Down Plug)

ポンプされたセメントはラッチダウンプラグとともに後押しされる。ラッチダウンプラグがランチャーに到着後、SET 内外を隔離し、エクスパンション中の圧力を維持する。

- ・アンカーハンガージョイント (Anchor Hanger Joint)

いわゆるライナーハンガーに相当する部分である。11-3/4" SET 管体に 12-5/16" のラバーパッキンが接着剤で巻かれている。

- ・テーパガイド (Taper Guide)

アンカーハンガージョイント直上に接続された、セーフティジョイント通過時のガイドを担うツール。

- ・セーフティジョイント (Safety Joint)

セーフティジョイントを先端に取り付けた編成を SET 内部へ下ろし、ランチャー上にあるセーフティジョイント下部にねじ込み、5" ドリルパイプを使用して 11-3/4" SET 降下が始まる。セーフティジョイントの接続部は大きいピッチのネジであり、右回し 10 回転でねじ込み、

接続トルクは 1,000 ft-lb であった。

- ・デブリスキャッチャー (Debris Catcher)

セーフティジョイント直上に接続されたツールで、今回は 2 回使用した。その名のごとく、セーフティジョイント下部への異物堆積防止である。

4.3 作業概要

4.3.1 降下前の準備作業

ランチャーは予めソリッドエクスパンションコーンおよびセーフティジョイントなどが組み込まれた状態で荷揚げされる。槽下に引き上げる際は、キャットウォークや、V ドアなどにぶつけないようにと指示があったので、槽下のホイストで持ち上げ、キャットウォークの船尾側に設置しているホイストでバックアップをとり、慎重に槽下へ引き上げた。

SET の引き上げは、リフティングサブを使用した。また SET はスリックであるため、スリップでロータリーテーブル上に設置した後、セーフティランプを使用した。SET のネジは左山である。その理由は、セーフティジョイントのネジが右山であるため、ストリングを降下中にハングアップした際、右回しを可能にするためである。アンカーハンガージョイントを含むすべてのジョイントに対して補泥を実施した。アンカーハンガージョイントのラバーパッキンの径は 12-5/16 (12.3125)" に対し、ウェルヘッドのウェアブッシング内径は 12.375" で 13-3/8" ケーシング内径は 12.347" である。ランチャー部の最大外径はコネクションスリーブ部の 12.125" とわずかなクリアランスであった。降下速度は制限され、1 時間あたり 4 ジョイントであった。

4.3.2 OHL 降下

アンカーハンガージョイントを SET に接続後、セーフティジョイントを先端に取り付けた 5" ヘビーウェイトドリルパイプと 5" ドリルパイプを OHL システム内に降下しランチャーへねじ込む。その際、すべてのストリングをゲージ通しする。アニュラー BOP クローズ時の SET の圧壊を防ぐため、SET が BOP を通過する間は、サービスエンジニアの指示によりアニュラー BOP のクロージング圧力を 500 psi に減圧した。ドリルパイプで OHL を降下中、深度 429 m でアンカーハンガージョイントが 13-3/8" ケーシング内でつかえて降下できなくなった。前述のクリアランスが原因である。よって、OHL を回収しアンカーハンガージョイント上のラバーパッキンをグラインダーで削り 1/8" だけ外径を小さくした。OHL 降下を再開し、丸一日かけて所定の位置に OHL を設置した。

4.3.3 セメンチング

オペレータの指示により、ランチャー内のフロート機

図6 OHL 設置手順 (出典: <http://www.enventuregt.com/>)

構ははずされていた。セメント送入後、ラッチダウンプラグをドリルパイプ内に投下する際にエアがUチューブ効果によりストリング内に入り込みプラグがエアを押し込むことになることが心配された。そのため、セメンチングヘッドにケリーコック（フルオープニングセーフティバルブ）をインストールし、後押し直前にケリーコックを閉め、その上にラッチダウンプラグを入れたサブを接続した。再びケリーコックを開け、後押しを開始するという操作によりエア混入を防止した。なお、セメントスラリーのシックニングタイムは12時間であった。

セメント送入時ポンプ圧力は1,500 psiであり、サービスエンジニアは1,900～2,000 psiでラッチダウンプラグ到達と説明した。プラグが到達し、10分間圧力維持確認後、圧力を払いセメンチングマニフォールドのバルブを開けバックフローの有無を確認した。

4.3.4 エクスパンション作業

エクスパンション前にサービスエンジニアにより注意された確認事項を以下に示す。

- ・ SET をエクスパンションしている間は高圧配管周囲およびロータリーテーブル周囲から離れる（原則、ドリラズボックス裏で待機）。
- ・ 指示が出されてから、作業員は持ち場に向かいスリップを設置し、ドリルパイプをスタンドバックする。
- ・ ドリルパイプを張り上げ、スリップを持ち上げたら、スリップはロータリーテーブル上に置かない。

エクスパンション作業中、セメンチングポンプを使用することから、サービスエンジニアがセメンチングルームと槽下に1名ずつスタンバイし、セメンチングポンプの操作とストリングの揚管速度、つまりエクスパンション作業を監視・管理した。以下に示した手順でエクスパンション作業を行った。

- ① ストリング内を昇圧 (2,000 psi 土) し、ドローワークスで巻き上げ、エクスパンションを開始。
- ② ドリルパイプを1スタンド張り上げたら、ストリング内の圧力を払う。
- ③ サービスエンジニアの指示が出てから、スタンドバック作業を行う。
- ④ スタンドバック終了後、作業員が退避していることを確認しエクスパンションを再開。

4.3.5 揚管作業

エクスパンションコーンがSET上端（ライナートップ）を通過すれば、エクスパンション作業が終了である。ライナートップで循環し、セメントリターンを約100 bbls回収後、ドリルパイプを揚管した。ソリッドエクスパンションコーンやデブリスキッチャーなどの倒管も特に特殊な作業ではなかった。ここまでの作業を表2に示す。

4.4 ソリッドエクスパンダブルチューブラー作業のまとめ

SETはスリックであるため、すべてのジョイントに

表 2 11-3/4" SET 作業工程

	時間 (hour)	内 容
1 日目	1/2	11-3/4" SET ハンドリング機器準備。
	5-1/2	11-3/4" SET 降下。
2 日目	3-1/2	続, 11-3/4" SET 降下。
	2-1/4	11-3/4" SET ハンドリング機器片付け。HWDP + DP (ランディングストリング) + セーフティサブ編成降下。11-3/4" SET と接続。
	1-1/2	11-3/4" SET + ランディングストリング編成降下。
	1-1/4	11-3/4" SET + ランディングストリング編成がつかえる。
	1-3/4	11-3/4" SET + ランディングストリング編成揚管。
	4	ラバーパッキンを 1/8" 削り, 外径を小さくする。
	9-3/4	11-3/4" SET + ランディングストリング編成降下。
3 日目	9-3/4	続, 11-3/4" SET + ランディングストリング編成降下。
	1/4	セメンチング準備。
	3	循環。
	1	セメンチング。
	3/4	ダート降下。
	2-3/4	エクспанション実施。
	1-1/2	ライナートップにて循環。
	3-3/4	ランディングストリング編成を揚管。

セーフティランプを装着しながらの作業であった。降下速度も非常に遅いため、通常の降下作業に比べ降下時間は長くなる。このため、作業員はある程度ゆとりを持って作業できるが、ドリラーには負担がかかる。

アンカーハンガージョイントのラバーパッキンを削ることになった。作業前に寸法チェックを実施していたが、結果的に不十分なクリアランスが原因で、ラバーパッキン部がつかえてしまった。

5. 新規技術適用事例全体のまとめ

3 件の新規技術の適用事例は成功例と失敗例とあったが双方ともに大変有意義な経験であった。このような経験は記録を残し、今後のオペレーションに生かしてゆくことが重要である。

新規技術を適用する際は、まず十分な準備が必要である。それは、資機材の準備のみならず、新規技術適用の目的や、作業手順などの理解、作業員とサービスエンジ

ニアのコミュニケーションなどが大切である。

SI 単位換算係数

ft × 3.048 *	E - 01 = m
" × 2.54 *	E - 02 = m
bbl × 1.589873	E - 01 = m ³
gal × 3.785412	E - 03 = m ³
lb × 4.535924	E - 01 = kg
psi × 6.894757	E + 03 = Pa

*は正確な値

参 考 文 献

- Enventure, Expandable Tubular : <http://www.enventuregt.com/>.
 Weatherford, Riser cap / Liner CSG Drilling : <http://www.weatherford.com/>.
 古谷昭人, 2004 : マネージドプレッシャードリリング (MPD), 石技誌, 69 (5).