論文・報告

高 温 度 泥 水 に つ い て*

今 野 淳**

(Received July 7, 1993; accepted July 27, 1993)

High temperature mud system for deep well drilling in Japan

By

Sunao Konno

1. は じ め に

現在, 日本の石油・天然ガス井の掘削においては, 水系高温度泥水としてリグネート系泥水, リグナイト系泥水が使用されている。しかし, これらの泥水の使用温度はそれぞれ約 170°C, 約 190°C で, これ以上の温度になると泥水性質が悪化し, 安定した泥水としての使用は難しくなる。一方, これ以上の耐熱性を持った泥水としては, リグナイト系泥水に脱水減少剤, 泥水安定剤として耐熱性ポリマーであるビニルアミド/ビニルスルホン酸コポリマー誘導体を併用した高温度泥水がある。しかしこの泥水の使用温度も約 210°C までで, これ以上の温度になるとポリマーが熱劣化し, 粘性低下, バライトの沈殿, そして, 脱水特性の悪化を生じる。

最近の日本における石油・天然ガス井の高深度化, 高温度化に伴い, 前述の高温度泥水以上に耐熱性を持った水系泥水システムの開発が望まれ, テルナイト社により研究が進められた。その結果, 超高温度泥水材料としてサーマビス (無機合成ポリマー, 増粘剤, 耐熱温度約 370°C) および G-500S (フミン酸/アクリル酸コポリマー誘導体, 泥水安定剤, 耐熱温度約 250°C) を主体とし, これに泥壁形成剤, 高温度用脱水減少剤, 坑壁・泥壁強化剤, そして, 高温度用潤滑剤を併用することにより, 240°C の温度条件下においても安定した泥水特性を持つ新しいタイプの水系高温度泥水が開発された。この新し

い泥水システムは, 前述した 2 つの超高温度泥水材料を使用しているため, 他の高温度泥水にみられるような高温下でのゲル化およびバライトなどの沈殿はみられず, 良好な流動性, 脱水特性, 潤滑性を持ち, そして, ソリッド汚染などにも強い。以下, この高温度泥水システム (以下サーマビス/G-500S 泥水と言う) について述べるとともに, 基礎試験「三島」にて実際に使用し, おおむね良好な結果を得たので, これについて簡単に紹介する。

2. サーマビス/G-500S 泥水

2.1 使用泥水材料と機能

サーマビス/G-500S 泥水システムで使用する泥水材料と機能は以下のとおりである。

・テルゲル	泥壁形成剤, 良質ベントナイト。
・サーマビス	増粘剤, 潤滑性もある。合成無機ポリマー, 耐熱温度約 370°C。
・ホスタドリル	脱水減少剤, 流動性コントロール剤。ビニルアミド/ビニルスルホン酸コポリマー誘導体, 耐熱温度約 210°C。
・G-500S	泥水安定剤。脱水減少剤, 分散解コウ剤。フミン酸/アクリル酸コポリマー誘導体, 耐熱温度約 250°C。
・苛性ソーダ	pH 調整剤。
・バライト	加重剤。
・スピーダー PS	高温度用潤滑剤, 耐熱温度約 300°C。
・アステックス S	泥壁・坑壁強化剤, 高温度用脱水減少剤, 耐熱温度約 260°C。
・オイル	潤滑剤, 脱水減少効果もある。
・S-SMA	高温度用分散解コウ剤, 耐熱温度約

* 平成 5 年 6 月 10 日平成 5 年度石油技術協会春季講演会作井部門シンポジウム「大深度掘削にかかわる技術的問題点」にて講演

** (株)テルナイト

260℃。

- ・アクタフロー S 特殊活性剤, 高温用泥水安定剤, 耐熱温度約 250℃。

2.2 基本泥水組成および一般的泥水性質

サーマビス/G-500S 泥水の基本組成および一般的泥水性質を以下に示す。

基本組成

清水	100 ml
テルゲル	0~2.0 gr
サーマビス	1.0~2.0 gr
ホスタドリル	0.8~1.5 gr
G-500S	1.5~2.0 gr
NaOH	pH 9.0~9.5 相当量
バライト	必要量
スピーダー PS	0.5~1.0 gr
アステックス S	1.0 gr
オイル	2~3 ml

一般的泥水性質

比重	1.03~2.20 (任意)
ファンネル粘性	40~60 sec
PV	25~40 cp
YV	10~20 lb/100 ft ²
Gel	2~5/5~15 lb/100 ft ²
API・WL	5.0 ml 以下
HTHP・WL	20.0 ml 以下
HTHP・MC	3.0 mm 以下
pH	9.0~9.5
MBC	3.0 ml/ml mud 以下
LGS	7.0 vol % 以下

2.3 評価試験結果

サーマビス/G-500S 泥水の 16 時間養生試験結果, 長期養生試験結果, 高温・高圧脱水試験結果, ファンビスコメーターモデル 50 による測定結果の例をそれぞれ表

1, 2, 3 および図 1 に示す。いずれの結果においてもサーマビス/G-500S 泥水は高温下において非常に安定した性状を維持している。なお, この試験に用いた泥水組

表 1 16時間養生試験結果

性 質	養 生 温 度 (°C)						
	室 温	150	180	200	220	240	260
AV	41	38	31	32.5	32	28	29
PV	34	32	26	29	29	24	25
YV	12	12	10	7	6	8	8
Gel	2~6	1~7	2~3	2~2	1~3	2~6	2~8
pH	10.5	8.7	8.1	7.8	7.8	7.8	7.6
WL	3.2	3.2	3.3	3.3	3.5	3.9	4.2
MC	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
バライト, カッティングスの沈殿等	沈殿は生じず, 泥壁は良好である。	同左	同左	同左	同左	同左	同左

表 2 長期養生試験結果

作液時泥水性質

AV	PV	YV	Gel	pH	WL	MC	沈殿
41	34	12	2~6	10.5	3.2	0.5	ナシ

240℃×3 日間養生後の性質

29	24	10	2~13	7.6	4.5	0.7	ナシ
----	----	----	------	-----	-----	-----	----

表 3 高温・高圧脱水試験結果

差圧: 500psi

脱水量, ml		泥壁, mm		泥壁の状態
300F	400F	300F	400F	
15.2	20.8	2.0	2.5	良好

図 1 ファンビスコメーターモデル 50 による測定結果

成は以下のとおりである。

清水	100 ml	G-500S	2.0 gr
テルゲル	2 gr	NaOH	pH 10.0±
サーマビス	1.5 gr	バライト	SG 1.60
ホスタドリル	0.8 gr	カッティングス	10 gr

3. 現場使用実績

水系高温度ポリマー泥水システムであるサーマビス／G-500S 泥水は、基礎試錐「三島」(H 3.9～H 4.10) 8-½", 6" 坑掘進において実際に使用された。ここでは、この現場使用実績について簡単に紹介する。

3.1 概 況

基礎試錐「三島」におけるサーマビス／G-500S 泥水の使用概況を以下に示す。

3.2 使用実績

(1) 掘進時の泥水性質および泥水組成

8-½" および 6" 坑掘進時の泥水性質および泥水組成を表 4, 5, 6, 7 に示す。いずれの掘進においても極めて良好な流動特性、脱水特性およびその他の性質が得られた。

(2) 作液、調泥および泥水管理

a. 作 液

サーマビス／G-500S 泥水の作液においては、当初、合成スメクタイトであるサーマビスの粘性発現(水和・膨潤)のため長期の時間を要すると思われたが、実際には、リグの攪拌装置が非常に良かったこと、および少量の食塩を使用したことにより、短時間で良好な粘性発現を得ることができた。また、全体の作液の方もこれまでの KCl-ポリマー泥水などの作液に比べ、非常にシンプルなものとなり、とりわけ問題はなかった。

b. 入れ替え

サーマビス／G-500S 泥水への入れ替えは、前インターバルで使用した KCl-リグナイト泥水で 9-½" ケーシング内のセメントおよびシュを浚い後、元肌で行った。入れ替えは、正循で行い、汚染防止のためスパーサーを使用した。

c. 調泥方法

この泥水システムにおける調泥は、原則的にあらかじめ所定の組成の泥水を作液し、それを循環泥水中に補給する方法(プレミックス・ダイリュション法)を主体に行い、作液する泥水組成については、要求される循環泥水の性質によって随時決定した。一方、循環泥水の増粘や脱水減少などのため、特定の調泥剤の添加が必要と

表 4 8-½" 坑掘進時の泥水性質

性質 \ 深度	5,013m	5,100m	5,200m	5,300m	5,400m	5,500m	5,600m	5,700m	5,800m	5,900m	6,000m	6,007m
SG	1.75	1.75	1.79	1.85	1.94	1.96	1.97	1.96	1.98	1.98	1.98	1.98
F. Vis (sec)	50	48	48	47	49	50	49	50	48	50	51	50
PV (cp)	34	35	29	30	34	32	32	34	30	39	35	38
YV (lb/100ft ²)	16	15	14	14	18	18	15	18	15	18	20	18
Gel (lb/100ft ²)	3.5	4.6	4.10	4.12	4.13	4.11	3.10	4.9	3.7	4.8	3.9	4.8
API・WL(ml)	2.6	2.3	2.3	3.4	3.0	3.2	3.0	2.7	2.3	1.8	1.7	1.6
HTHP・WL(ml)	9.8	8.0	8.4	8.8	10.4	10.8	10.8	10.4	10.0	8.0	7.0	7.8
HTHP・MC(mm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0
pH	9.5	9.3	9.9	9.3	9.4	9.4	9.4	9.4	9.3	9.2	9.3	9.3
MBC(ml/ml mud)	1.75	2.0	2.5	2.25	1.75	2.0	1.75	1.75	1.75	1.5	1.5	1.5
Sand (vol %)	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
O/S (vol %)	2/25	2/26	3/27	2/29	3/31	3/32	3/33	3/33	4/33	6/33	5/33	4/33
LGS (vol %)	1.5	2.1	3.4	3.0	2.5	2.9	3.6	3.6	3.1	2.9	3.9	3.5

表5 8-1/2" 坑掘進時の泥水組成

清水	100 ml
テルゲル	1.0~0.1 gr
サーマビス	1.0~1.4 "
G-500S	1.4~1.8 "
ホスタドリル	1.4~2.2 "
アステックス P	2.3~2.7 "
スピーダー PS	0.8~1.2 "
NaOH	0.2~0.3 "
A ₁ オイル	2~3 ml
バライト	1.96~1.99 相当量

表6 6" 坑掘進時の泥水性質

性質 \ 深度	6,007m	6,050m	6,100m	6,150m	6,200m	6,250m	6,300m
SG	1.80	1.77	1.75	1.82	1.88	1.88	1.91
F. Vis (sec)	50	51	50	47	48	48	48
PV (cp)	33	33	38	39	40	37	35
YV (lb/100ft ²)	12	16	14	16	18	18	16
Gel (lb/100ft ²)	2-7	2-6	3-8	4-9	4-9	4-12	3-6
API・WL (ml)	5.4	4.3	3.1	2.8	2.8	2.8	2.7
HTHP・WL (ml)	18.0	16.2	14.0	12.4	10.2	9.4	9.8
HTHP・MC (mm)	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0
pH	10.1	9.6	9.6	9.4	9.4	9.4	9.5
MBC (ml/ml mud)	1.25	1.5	1.5	2.0	2.0	2.25	2.25
Sand (vol %)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
O/S (vol %)	3/27	2/26	2/26	2/27	2/30	2/30	2/31
LGS (vol %)	2.0	1.9	2.7	1.6	2.3	2.3	2.4

表7 6" 坑掘進時の泥水組成

清水	100 ml
テルゲル	0.2~2.0 gr
サーマビス	1.0~1.2 "
G-500S	1.2~1.6 "
ホスタドリル	2.0~2.3 "
アステックス P/S	1.0~1.8 "
スピーダー PS	0.5~1.0 "
NaOH	0.2 gr
A ₁ オイル	2 ml
バライト	1.75~1.91 相当量

なる場合は、ホッパーからの直接混入を行った。

d. 泥水管理

① サーマビス, G-500S 濃度

良好で安定した泥水を維持するため、循環泥水中のサーマビス濃度を1.0~1.8%, G-500S 濃度を1.5~2.0%に維持管理した。これにより最後まで安定した耐熱性を持った泥水性状が得られた。

② 流動性

高温、高比重と極めて厳しい坑井条件であったが、低比重ソリッド分、微細ソリッド分および MBC 値を低く維持し、十分な泥水管理を行うことで良好な流動特性を得ることができた(表4, 6 参照)。なお、泥水入れ替え後最初の段階では、揚降管後坑井内で静置状態に長く置かれた泥水の粘性が上昇するという問題を生じたが、

その後徐々に調泥法を工夫して問題を解決した。この泥水システムにおいて粘性を上げる場合は、ホスタドリルを直接添加し、粘性を下げる場合は、割水または低粘性のダイリュションマッドの補給を行った。

③ 脱水特性（脱水減少性、泥壁形成性）

基本のサーマビス/G-500S 泥水にアステックス P/S および A₁ オイルを併用することにより API 脱水特性、高温高圧脱水特性ともに非常に良好な結果が得られた（表 4, 6 参照）。

④ pH 値

安定した泥水特性を維持するため、この泥水の pH 値は苛性ソーダ溶液にて 9.0~9.5 に調整した。なお、基礎試験「三島」において pH 値調整のために使用した苛性ソーダの使用量は、8-1/2", 6" 坑それぞれ約 30kg/日、約 12kg/日で、これまで使用した高温泥水に比較し非常に少なかった。これは今回使用した泥水が極めて熱分解を起こしにくく、良好な耐熱性を持っていることを裏付けるものである。また、泥水材料の熱分解による H₂S の発生はなかった。

⑤ MBC 値

泥水の流動性および脱水特性、そして、耐熱性を良好に維持するため、この泥水の MBC 値は 3 以下に維持した。

⑥ ソリッドコントロール

基礎試験「三島」においては 8-1/2", 6" 坑ともに 1.90 以上の高比重となり、しかも低掘進率によるソリッドの微細化を生じ、ソリッドコントロールが極めて重要となった。実際には LGS 値を 5 vol% 以下、2 ミクロン以下の微細ソリッド分を 30% 以下（全ソリッド量に対し）に維持するためにフローインクリーナー、セントリフュージなどの機械的処理装置を有効に使用するとともに、新泥水の補給（希釈）を行い十分なソリッドコントロールに努めた。

⑦ セメント汚染対策

サーマビス/G-500S 泥水は基本的に強い分散剤を使用しないポリマー泥水システムであるためセメント汚染にはあまり強くない。基礎試験「三島」においては、これに加え高比重、高微細ソリッド分となり、セメント汚染に対してはさらに厳しい条件となった。このためセメント汚染防止として以下の対策を講じセメンチング作業に望んだ。

- ・多めのスパーサーの使用
 - ・高温分散剤である SSMA（スチレンスルホン酸/マレイン酸コポリマー誘導体）を使用
 - ・Ca²⁺イオンは重曹処理
- この結果、7" ライナーセメンチング、9-5/8" スキー

ズセメンチングおよびその後のセメント浚い作業いずれにおいてもセメント汚染は生じなかった。取り分け、多めのスパーサーの使用は、セメント汚染防止に効果的であった。

⑧ 崩壊、落ち込み防止対策

基礎試験「三島」では、8-1/2", 6" 坑掘進中いずれにおいても、崩壊、落ち込み問題を生じた。このため崩壊、落ち込み防止対策を以下のとおり講じ、最終的に良好な坑内安定性を得た。

- ・泥水比重を上げる。
- ・坑壁・泥壁強化剤であるアステックス P/S 濃度を上げる。
- ・レオロジーコントロール——YV/PV 比を上げる。
- ・高粘性スウィープマッドのフラッシュ。

⑨ 高温対策

6,300m 掘止め後の電検、ケーシング降下、DST 時において泥水が坑底に長時間静置されるため、あらかじめ循環泥水に特殊活性剤、泥水安定剤であるアクタフロー S を添加した泥水を、坑底付近にスポットして高温対策を行った。これにより、電検、ケーシング降下、DST 作業時においても良好な泥水特性が得られ、いずれの作業も問題なく行うことができた。以下に高温対策用スポット泥水の組成例および電検前後の性質を示す。

スポット泥水組成例

循環泥水	80 ml
新泥水	20 ml
アクタフロー S	0.5 ml (0.5%)
バライト	必要量

電検前後のスポット泥水性質

	電検前	電検後
SG	1.91	1.91
F. Vis (sec)	48	47
PV (cp)	35	34
YV (lb/100ft ²)	16	16
Gel (lb/100ft ²)	3-6	2-6
API-WL (ml)	2.7	2.8
HTHP-WL (ml)	9.8	11.6
HTHP-MC (mm)	2.0	2.0
pH	9.5	9.2

4. ま と め

基礎試験「三島」において、水系高温ポリマー泥水システムであるサーマビス/G-500S 泥水を、坑底温度約 178°C、泥水比重 1.75 の深度 5,013m 以深の 8-1/2", 6" 坑掘進で実際に使用した。泥水入れ替え後、最初の段階では坑井内で静止状態に長く置かれた泥水の粘性が

上昇するという問題が発生したが、徐々に調泥法を工夫して問題を解決し、最終的には坑底温度約 225°C、泥水比重 1.99 という極めて厳しい条件にも関わらず 6,300m の掘削完了まで長期間安定した泥水性状を維持することができた。また、サーマビス/G-500S 泥水を使って掘削した裸坑部の安定性も得られ、泥水に関連した大きな坑内トラブルもなかった。このように基礎試験「三島」では、サーマビス/G-500S システムの良好な使用実績が得られるとともに、この泥水システムの調泥および泥水管理方法をおおむね確立することができた。

今後は、セメント汚染対策、微細ソリッド汚染対策な

どの課題に対し研究を行うとともに、あらたな使用の機会を与えていただき、このサーマビス/G-500S 泥水を日本における水系高温度ポリマー泥水システムとしてさらに確立していきたい。

謝 辞

このたび全く新しいタイプの水系高温度ポリマー泥水システムであるサーマビス/G-500S 泥水の使用機会を与えていただくとともに、本泥水システムの使用に当たり協力していただいた石油資源開発株式会社および石油公団に厚く感謝の意を表します。