原 著 論 文

泥水におよぼす温度の影響に関する現場テストについて

田 中 彰 一*・宮 澤 政*

(昭和52年 5 月20日受理)

A Field Test of Mud on Temperature Effect

By

Shoichi TANAKA and Masasi MIYAZAWA

Abstract: During a round trip, drilling mud is aged under well bore conditions, ie. high temperature and pressure. This is able to be utilized to evaluate effect of temperature and pressure on mud and its additives. A field test of mud is carried out according to this concept on September, 1976, at Shin-sekihara well. Mud properties are measured continuously every twenty minutes for three hours after a round trip at well depth of 2,289 m, and, also, five mud samples are taken for laboratory work. Following conclusions are obtained.

- 1) A break of mud circulation during a round trip can be utilized to evaluate effect of temperature and pressure on mud and its additives.
- 2) On the field test, apparent viscosity increases with circulation time and falls to a stable level after one cycle of mud circulation. This phenomenon is analyzed to clarify effect of aging.
- 3) Yield value of mud suffers effect of aging more than plastic viscosity in this test. It is assumed that a dispersing agent in the mud is decomposed during aging under the well bore conditions.
- 4) With comparison between mud properties measured at the well site and that measured at the laboratory, effect of temperature on mud is clarified. Plastic viscosity of mud decreases with increase of temperature, but yield value increases with increase of temperature.
- 5) Apparent viscosity of mud behaves complicatedly with temperature, so it is not suited as an index of mud property.

1. ま え が き

坑井の掘さくに泥水は不可欠なものであるが、その性質は温度・圧力・固体分により複雑な変化を呈する。坑内状況により、比重・粘性・造壁性などの諸特性を調整するが、このうち粘性の調整が最も難かしいものである。高温高压粘度計により、温度・圧力の影響は評価されており、数多くの論文が発表されているが、実際の坑内条件を再現することは困難である。掘さく現場においてこれらの影響を評価できればそれにこしたことはない。掘進作業中の泥水は連続的に地表、坑底、地表と循環され

ており、この中から温度や圧力の影響を検出することは困難なことが多い。揚降管作業のときの泥水は長時間にわたり坑井内で高温・高压の環境に置かれ、これらの影響を見ることができると考えられる。この考えにより、揚降管作業前後の坑井からの戻り泥水の性質を連続して測定した。この研究の目的は次の2つである。

- 1) 高温・高压下で放置したとき泥水の受ける影響
- 2) 温度による泥水の流動性の変化

2. 測定現場および条件

掘さく現場における測定は昭和51年9月3日から4日にわたり、新潟県長岡市西郊の新開原1号井において行なった。坑井深度は2,289mであった。使用していた泥

* 東京大学工学部資源開発工学科

Fig. 1 Variation of mud properties measured at a well site with mud circulation time. Drilling operation before a round trip is shown by point "A". Points "B" and "C" are twelve hours and thirteen hours respectively. MW mud weight, AV apparent viscosity, PV plastic viscosity, YV yield value, GS gel strength.

水はリグネート泥水である。測定は次の順序で行なった。

- 1) 掘進作業時
- 2) 降管作業終了後の泥水循環再開時
- 3) 掘進作業時

現場においては一定間隔で測定し、その間5個の試料を採取し、帰京後実験室で測定した。揚降管作業に伴う泥水循環の中断時間は約9時間であり、この間坑井内の泥水はそれぞれの深度に応じた圧力と温度を受けている。坑底圧は泥水比重から計算すると約260kg/cm²である。坑底温度は測定値がないので、近くにある関原ガス田の値より推定すると約90°Cになる¹⁾。実験室における泥水の測定は採取後1週間以内に行なった。

3. 坑井内に放置された泥水の性質の変化

深度2,289mにおける揚降管作業前後の泥水の性質の現場における測定値をFig.1とTable1の上半分に、実験室における測定値をFig.2とTable1の下半分に記す。

Fig.1の横軸は測定時間を表わし、A点は揚管前の掘進中の泥水の性質を示す(Table1のサンプル番号1)。降管後泥水循環を再開したときを時間の基点にとり、これより約3時間の間20分間隔で測定を繰り返した。坑底から坑口まで泥水が上昇するに要する時間は1時間(サンプル番号3)であり、泥水全量が一循するに2時間(サ

Fig. 2 Mud properties measured at a laboratory. Sample numbers are referred to Table 1. Symbols are same as those of Fig. 1.

ンプル番号4)を要した。Fig.1のB点は泥水循環再開後12時間経たしたもの(サンプル番号5)で、C点は13時間後に当たる。

揚降管作業前後の泥水比重は1.13~1.14であり、同一の泥水とみなせる。V-Gメータの測定値は泥水循環2

時間位で揚管前の掘進作業時の値に復している。その間、泥水循環1時間付近で粘性の増加がみられ、これは坑井内の高温・高圧の条件下で放置されていた結果と考えられる。泥水の粘性は同一温度においても静置すると増加し、攪拌すると低下する。この攪拌状態に今回の測定では多少差があるかもしれないが、これによる影響よりは高温・高圧の影響の方が大きいと考えられる。

デッチにおける戻り泥水の温度は循環再開後急速に回復し、40分後で約54°Cで、揚管前の60°Cに比べて6°Cだ

Table 1 Properties of mud taken at the well depth of 2,289 m

sample number	1	2	3	4	5
circulation time, hrs	0	1	2	12	
measured at well site					
apparent viscosity, cp	33	35	51	35	42
plastic viscosity, cp	26	29	37	28	29
yield value, lb/100 ft ²	15	14	28	14	26
gel strength 10 sec, lb/100 ft ²	5		6	5	8
gel strength 10 min, lb/100 ft ²	6	5	8	6	10
mud weight, g/cm ³	1.14	1.13	1.14	1.14	1.13
marsh funnel viscosity, sec	50	60	73	48	50
mud temperature, °C	60	41.6	54.5	55.5	60.7
measured at laboratory					
apparent viscosity, cp	45	34	49	50	47
plastic viscosity, cp	39	31	43	43	39
yield value, lb/100 ft ²	11	8	13	14	16
gel strength 10 sec, lb/100 ft ²	4	3	4	5	5
gel strength 10 min, lb/100 ft ²	5	4	6	6	5
mud weight, g/cm ³	1.15	1.14	1.15	1.15	1.14
water loss, cm ³	4.9	5.3	4.9	5.0	6.0
ph	8.5	8.5	7.8	8.3	8.7
mud temperature, °C	23.7	24.5	24.5	24.5	24.0

- 1) No. 1 sample was taken during drilling operation before a round trip. This mud is marked by "A" in Fig. 1.
- 2) Mud circulation was broken for nine hours during a round trip. No. 2 mud was taken immediately after start of circulation.
- 3) One hour was a bottom-up time of this situation. No. 3 mud was assumed to be aged at bottom-hole conditions during a round trip.
- 4) It took two hours to circulate whole mud of this well. No. 4 mud was taken at this time.
- 5) Some asbestos was added to mud for conditioning. No. 5 mud was taken at this point. This mud is shown by "B" in Fig. 1.

け低い、これも泥水の性質に大きく影響するものではない。

見掛け粘度 (AV) を揚管前の泥水と坑底に放置されていた泥水 (サンプル番号1と3) とで比べると33cpから51cpへ50%以上増加している。マーシュファンネル粘性も同様な傾向を示している。見掛け粘度はその定義より次のように分解できる。

$$AV = PV + \frac{1}{2} YV$$

ここで、 AV =見掛けの粘度, cp; PV =プラスチック粘度, cp; YV =イールドバリュ, lb/100 ft²。プラスチック粘度とイールドバリュの双方とも坑井内に放置されていた泥水は他の泥水より大きな値を示しているが、イールドバリュの変化の方が大きい。

泥水は静止状態より、ずり応力を増加して行くと、ゲルストレングス (GS) までは固体として挙動し、この値を超えると液体としての性質を示し始め、イールドバリュを超えた付近より急速に流動性を増してくる。プラスチック粘度は泥水の粘性流体としての性質を表わし、イールドバリュは固体より流体へ移り変わる点の目安と考えられる。

現場における測定によると、イールドバリュは2倍近く増加し、泥水中の粘土粒子の凝結が発生したことを示し、これによりプラスチック粘度も影響を受け、これらの作用の総合したものとして見掛け粘度が急増したと解釈される。

泥水の pH は実験室で測定したが、Fig.2に示すように坑底に放置されていた泥水においては他のものより低い値を示し、調泥剤が分解したことを示している。汙過水量も実験室で測定したが、これにはサンプル間で顕著な差は認められない。

泥水の諸性質は調泥剤で調整されているが、今回の測定では分散剤の効果が坑底条件下で弱まったことを示し、脱水調整剤は影響を受けなかったと考えられる。このような測定を条件を変えて行なえば、調泥剤の評価に利用できると考えられる。

泥水循環再開12時間後の測定値はイールドバリュが増加し、プラスチック粘度は変化していない。これは調泥剤としてアスベストを加えたためである。プラスチック粘度とイールドバリュは別々の性質を表わすものであり、また別々に調整されうるのであることを示している。

4. 井戸元における測定値と実験室における測定値の比較

井戸元で採取し、実験室に持ち帰った泥水は次の点で現場での測定と異なってくる。1つは温度であり、今回

Fig. 3 Relationship between plastic viscosity measured at field conditions (about 60°C) and that measured at room conditions (24°C).

Fig. 4 Relationship between yield value measured at field conditions (60°C) and that measured at room conditions (24°C).

の研究では井戸元のデッチにおける戻り泥水温度は約60°Cであり、室内では約24°Cであった。他の問題点はカッティング等の泥水への溶解が増加することである。Table 1に記すように泥水比重は室内実験の方が0.01ほど高い。水の比重は24°Cで0.997, 60°Cで0.98であり、前記の差は温度による水の比重の差によるものと考えられる。

プラスチック粘度とイールドバリュについて現場での測定値と実験室での測定値を比較したのが Fig. 3と Fig. 4である。これらの図には参考のため45°の破線が引いてある。プラスチック粘度は点がすべて破線の下にあり、実験室における測定値の方が大きい。すなわち、

Fig. 5 Relationship between apparent viscosity measured at field conditions (60°C) and that measured at room conditions (24°C).

温度が下がるとプラスチック粘度は増加することを示している。イールドバリュは点がすべて破線の上にあり、温度が高い方がイールドバリュは増加することを示している。この2つの特性の温度に対する挙動は逆であることを示している。

液体の粘度は温度が上がると低下する。プラスチック粘度は前記のように液体の粘度と同じ挙動をする。イールドバリュはこの点からみても液体とことなる別の性質を表わしたものであることがわかる。

見掛け粘度の比較を Fig. 5に示す。点の傍の数字はTable 1のサンプル番号を示す。番号1, 4および5の掘進時の泥水では温度が下がると見掛け粘度は増加しているが、坑井内に放置され、イールドバリュが高くなった泥水(サンプル番号2と3)では温度が高くなると増加する傾向を示している。見掛け粘度は前記のようにプラスチック粘度とイールドバリュの組み合わせだったものであり、イールドバリュが相対的に高くなると、見掛け粘度は温度が高くなると増加することが予想され、実際にそのような現象が報告されている。

5. ま と め

ビット取替えの揚降管作業のさい泥水循環は中断される。その間泥水は坑井内でそれぞれの深度に応じた温度と圧力の下で放置される。これは泥水を高温・高圧容器に密封して養生することと同じであり、室内実験では難しい高い温度や圧力下でテストしうる利点がある。これは調泥剤や泥水の評価に利用でき、また積極的に活用すべきである。同様な趣旨のことを Gray も第9回世界石油会議で提案している。泥水循環再開時には連続して

マーシュ ファンネル粘度を測定して調泥の指針にすることは通常行なわれていることであるが、時間に追われる作業であるので記録を取ったり測定項目を増すことなどは困難である。今回の研究はこの点を補い、その有効性について検討したものである。この研究により次のことが得られた。

- 1) 降管後の1循環を泥水および調泥剤の評価に利用できる。
- 2) 泥水の粘性の指標であるプラスチック粘度とイーールドバリュはそれぞれ異なった意味を有しており、別々に調泥されるべきものである。
- 3) プラスチック粘度は温度が上がると低下する。
- 4) イーールドバリュは温度が上がると増加する。
- 5) 見掛け粘度はプラスチック粘度とイーールドバリュの組み合わせたものであり、泥水の温度や調泥剤に対する挙動を判断するには見掛け粘度より、プラスチック粘度とイーールドバリュを用いるべきである。
- 6) 今回の実験では90°C前後と推定される坑底温度に

放置することでイーールドバリュの増加がみられ、これは分散剤の効果が弱まったと考えられる。

謝 辞

この研究の実施にあたりご協力いただいた帝国石油株式会社および株式会社テルナイトに厚く感謝する。また測定の一部を担当された佐藤光夫助手ならびに長照三技術員に謝意を呈する。なお、この研究の一部分は文部省科学研究費により行なった。

参 考 文 献

- 1) 相場惇一(1977): 地史的考察による石油の初期移動, 石技誌, Vol.42, No.2, p.117
- 2) HILLER, K.H. (1963): Rheological Measurement on Clay Suspensions and Drilling Fluids at High Temperatures and Pressures, *JPT*, July, p.779
- 3) McMODDIE, Jr., W.C. (1969): Viscometer Tests Mud to 650°F