遊離ガス層に対する泥水の侵入に関する研究

藤 井 清 光*

(昭和35年2月18日受理)

A Study on the Invasion of Mud Fluid into Free Gas Zone

By

Kiyomitsu FUJII

Abstract: Results of a study on the invasion of mud fluid into free gas zone tested by the use of artificial consolidated sands are described in this paper. Some of the results obtained are as follows: (1) as mud pressure increases the speed of invasion increases, (2) barite mixed in mud fluid affects a little on the speed of invasion, (3) CMC in mud fluid decreases the speed of invasion, and (4) as the degree of reduction of gas permeability of sands by mud invasion, it is conspicuously smaller on the cores of originally lower permeability and on the cores of which mud invaded longer time.

I. 研究の目的および研究方法

ロータリー式で掘鑿する場合には、泥水の侵入のために、井戸を仕上げた後のガスの生産が非常に妨げられることがある。ガスは豊富に地下に存在しながら、掘鑿方法が悪いためにガス資源の開発ができないことがあるわけである。それで著者はこの問題を解くことを目的として研究を行つた。すなわち、(1) 泥水は遊離ガス層に対してどのような状態で侵入するものであるか、(2) 侵入した泥水は遊離ガスの流動をどのように妨げられるものであるか、(3) 泥水の侵入を防ぐにはどうしたらよいか、などの点を明らかにする目的で研究を行つた。

これに関して行つた研究の一部はすでに発表されている¹⁾。しかし、その研究では実験の数がたりない部分があつたので、著者はその後も実験を行い、ほど結論的な結果を得ることができた。それについて、こゝに記し、さらにその結果を現場の作業に応用することについて記す次第である。

実験設備は以前の研究¹⁾と同じものである。すなわち普通の泥水濾過試験装置の下側にコアをとりつけたものである。泥水に圧力 (普通は 7 kg/cm^2) を加える。そ

のために泥水の一部がコアに侵入する。これがコアの端に出たことを知るには、電気抵抗の変化を測定する。その後に逆方向から空気を送り、コアの滲透率を測定する。この滲透率を元来のコアの滲透率と比較して、泥水の害を判断する。この実験ではすべて人工のコア (砂をセメントでかためたもの) を使用した。

II. 泥水の侵入の速さに関する実験

掘鑿中に泥水が遊離ガス層に侵入する速さが、まず問題になる。これに関して行つた実験の結果が第1図である。この実験は、長さ 3 cm のコアに対し、 7 kg/cm^2 の圧力で泥水を送つたものである。侵入の速さはコアの滲透率に関係があるので、横軸に滲透率をとり、縦軸に 3 cm のコアを流れる時間 (分) をとる。一番下の線はベントナイト泥水の場合である。この実験結果は先の研究¹⁾ に記してあるので、この図には測定点は記入してなく、平均の値を示す線のみ記入してある。これに使用したTベントナイトはよい種類のものでなく、実験に使用した濃度 12% においても濾過水 (30分) は 13 cc となる¹⁾。第1図は、この泥水に対して、バライトまたはCMCを混合した場合の実験結果を示す。点の分布より判断すれば、泥水 100 cc に対しバライトを 68 g の割

* 東京大学工学部採油教室

第 1 図 泥水がコアを流れる時間

合で加えたもの（比重は約1.5）は、泥水の場合と比較してごく僅か侵入時間が長くなる。泥水に0.2%のCMCを加えた場合には、明らかに侵入時間が長くなる。一般に滲透率が小さくなるほど、侵入時間が長くなるが、CMCはこの傾向を特に強くする。すなわち、滲透率が300~600 mdの範囲では、CMC混合泥水は泥水の場合の約2倍の侵入時間となる。コアの滲透率がこれより小さくなると、侵入時間の比率はさらに大きくなる。このことは100 md以下の滲透率のガス層を掘鑿する時には、泥水に0.2%程度のCMCを混合すれば、泥水の侵入に対してよい結果を与えることを意味する。また、1000 md以上の滲透率のガス層を掘鑿する時は、どの種類の泥水もかなり速く侵入することを意味する。

泥水の圧力が増加した場合の、泥水の侵入時間に関した行つた実験結果が第2図である。泥水はKベントナイトを濃度10%として使用した。この時の濾過水(30分)

第 2 図 泥水がコアを流れる時間

は7 ccである（すなわちTベントナイトを使用した泥水よりよい性質である）。長さ3 cmのコアに対して、7 kg/cm²の圧力でこの泥水を送つた時の泥水が流れる時間は、第2図の線(B)で示されている。圧力を約2倍の15 kg/cm²にした場合は線(A)で示されている。Aの実験では、Bの実験の半分以下の時間で流れている。泥水の圧力をさらに2倍の30 kg/cm²にした場合には、長さ3 cmのコアでは瞬間的に泥水が出てしまうので、長さ6 cmのコアを使用した。その結果が図の線(C)である。これも小さい滲透率では、流れる時間が長くなるような結果を示している。

以上の実験結果は、泥水の圧力が高くなるほど、泥水がガス層に侵入しやすくなることを意味する。すなわち、このことは実際の鑿井においては、井戸が深くなるほど、あるいは同じ深さでは泥水の比重が高くなるほど、泥水はガス層に侵入しやすくなることを示している（これより後の実験では、泥水の圧力はすべて7 kg/cm²である）。

III. ガスが通過し始める圧力に関する実験

次には、泥水が侵入したガス層の一部分（すなわち井戸の周囲）を通過して、ガスが流れることが問題になる。侵入した泥水がガスの流れを妨げる場合には、ガスは高い圧力にならないと、この部分を通過することができなくなる。すなわち、ガスが流れ始める圧力の測定は、泥水の害を知る1つの方法である。これに関して行つた実験結果が第3~7図に示してある。実験方法は、泥水の侵入したコアに対して、侵入方向とは逆方向に空気を送る。まず小さい圧力すなわちコア1 cm当り0.013 kg/cm²の圧力で空気を15分間送る。以下15分間ずつ0.022, 0.045, 0.066, 0.09, 0.13, 0.18, 0.33 kg/cm²の圧力を保ちながら、次第に高い圧力にしていく。この途中において、ある圧力に達すると空気が流れ始めるのである。この実験におけるコアの状態としては、(1) 泥壁をとり除いて空気中で測定したもの、(2) 泥壁および泥水が存在した状態で、逆方向から空気を送つて測定したもの、の2種類がある。泥水がコアに侵入する時間については、(1) 泥水がコアの端に出た時に泥水を流すのを止めたもの、(2) 泥水を180分間コアに流したものの、2種類がある。実験結果を表わす場合には、(1) に対しては“出始めるまで”と記し、(2) に対しては“180分”と記すことにする。(1)の条件では普通の状態では25~60分のものが多い。したがって、(2)の条件の180分も泥水を流すことにより、泥水の粒子がコアのなかをふさぐことが考えられる。

第3図は長さ3 cmのコアーに対し普通のペントナイト泥水を使用した場合について、空气の通過し始める圧力を測定した結果である。泥水はTペントナイトの12%濃度のものである（以下の実験ではすべてこの泥水を使用している）。この図で、まず明らかなことは泥壁をとり除いた実験では、僅かな例外を除けば、コアーの滲透率に関係がなく、空气は低い圧力で通過し始めることである。これに反し、泥壁をつけたまゝの状態では、空气は高い圧力にならないと通過し始めない。このことはコアーの滲透率が低いほど著しい。泥壁をつけたまゝのコアーでは、泥水がコアーの端に出た時に、泥水を流すことをやめたコアーと、泥水を180分流したコアーとの間には、大きな差がない。泥壁をとり除くことは空气を流れやすくすることに対し非常に有効であることが、上の結果より判明した。しかし現場において、ガス層に対してできた泥壁を完全にとり除くことは不可能である。それで以下の実験では、なるべく実際の状態に近ずけるために、泥壁および泥水が存在する状態で実験を行った。

第3図 空气の通過し始める圧力

第4図は泥水に0.2%のCMC*を加えた場合の、空气の通過し始める圧力の実験結果である。この実験においても泥水の流れる時間は、実験結果に大きな影響を与えない。第3図と第4図を比較しても大きな差はない。このことはCMCの混合が空气の通過し始める圧力に影響を与えないことを意味する。ただし、この実験では

* 商品名 O.W. 2

第4図 空气の通過し始める圧力（泥壁つき）
[CMC 0.2%混合]

長さ3 cmのコアーを使用していることに注意すべきである。

第5図は泥水100 ccにバライトを68 gの割合で混合した場合の実験結果である。この図と第3図を比較することにより、バライトの混合が空气の通過し始める圧力に影響を与えないことを意味する。次に第6図は、長さ6 cmのコアーに対し180分間泥水を流したコアーの、空气の通過し始める圧力を求めた実験結果である。コアーの長さ1 cm当りの圧力と滲透率の関係、ならびにCMCの作用が明らかでない点は、長さ3 cmのコアーを使用した場合と全く同じである。次に第7図は初め水で飽和したコアー（長さ3 cm）を使用した実験結果である。これは元来水分の多い遊離ガス層を仮定し

たものである。この実験（泥水を流す時間は180分）の結果を第3図の結果と比較すると（第7図には測定が余り多くないが）、同じ傾向を示していることがわかる。

IV. 滲透率の回復

泥水が流れた遊離ガス層の遊離ガスに対する滲透率を測定することにより、泥水の害を数学的に知ることがで

第 5 図 空気の通過し始める圧力 (泥壁つき)
[バライト 68 g/100 cc 混合]

第 6 図 空気の通過し始める圧力 (泥壁つき)
[コアの長さ 6 cm]

きると同時に、その結果より泥水の害の対策を立てることもできる。これに関して行つた実験は、一定時間、泥水の流れたコアに対して、前に示したような順序で空気を送り、滲透率を測定する。これを元来のコアの滲透率 (泥水を通す前の滲透率) に比較して百分率で表わし、滲透率の回復率と名づける。空気の圧力が高くなる

第 7 図 空気の通過し始める圧力 (泥壁つき)
[初め水を飽和したコア]

に従つて滲透率が回復する状態は、第 8 図より知ることができる。これは代表的な例であつて、これによれば滲透率が大いほど回復率は大きく、逆に滲透率が 100 md 以下の場合、回復率は非常に小さくなつてゐる。なお、第 8 図の実験および以下に記す実験では、すべて泥壁がついたままのコアを、泥水に接触した状態で測定したものである。

第 9 図は長さ 3 cm のコアに対して泥水のみを流した場合に (低い圧力から次第に高い圧力に空気を送り)、コア 1 cm 当り 0.18 kg/cm² の空気の圧力になつた時の滲透率の回復率を示したものである。この図には、泥水が出始めるまで泥水を流したものと、180 分泥水を流

第 8 図 滲透率の回復 (泥壁つき)

第9図 滲透率の回復 (泥壁つき)

[空気の圧力: $0.18 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

したものの2種類の状態が記してある (この図において、実線または破線は点の分布の範囲を示している)。これによれば、(1) 滲透率が高いほど回復率の大きいこと、(2) 滲透率が100 md 以下では回復率は0または0に近いこと、(3) 泥水をコアの端より出始めるまで流

第10図 滲透率の回復 (泥壁つき)

[空気の圧力: $0.17 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

第11図 滲透率の回復 (泥壁つき)

[空気の圧力: $0.33 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

第12図 滲透率の回復 (泥壁つき)

[空気の圧力: $0.33 \sim 2.3 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

したもの (20~50 分) より、180 分間泥水を流したもののほうが、明らかに滲透率の回復が小さいこと、などが明らかである。第10図は長さ6 cmのコアに対して、第9図と同じ泥水を180分間流した場合の実験結果である。測定点は空気の圧力がコア1 cm 当り 0.17 kg/cm^2 まで行つた時の滲透率の回復率を示す。これは第9図の180分の実験結果と大体同じ傾向を示している。

第11図は第9図と同じコアの条件に対し、空気の圧力をコア1 cm 当り 0.33 kg/cm^2 まで上げた場合の滲透率の回復率を示す。これによれば、空気の圧

力が高くなれば、滲透率の回復率は明らかに大きくなっている。第12図は第11図よりさらに空気の圧力を高くした実験結果である。これによれば、やはり空気の圧力が高くなるほど、滲透率の回復率は大きくなっている。

第13図は泥水100 cc に対しバライトを68 g 混合した場合の実験結果である。バライトの混合以外の条件は第9図の実験と同じである。第13図を第9図と比較することにより、バライトの混合は、滲透率の回復に対し影響がないことを知ることができる。泥水に対し CMC を0.2%の割合で混合し

た実験結果が第14図である。この実験も、CMCの混合以外の条件は第9図の実験と同じである。第14図を第9図と比較することにより、CMCの混合は、滲透率

第13図 滲透率の回復(泥壁つき), パラライト
68 g/100 cc 混合
[空気の圧力: $0.17 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

第14図 滲透率の回復(泥壁つき),
CMC 0.2 % 混合
[空気の圧力: $0.17 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

第15図 滲透率の回復(泥壁つき), 初め水を飽和したコア
[空気の圧力: $0.17 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$]

の回復に対し明らかな影響がないことを知ることができる。ただし、この実験では長さ3 cmのコアを使用していることを忘れてはならない。

初め水を飽和させたコアを使用した実験の結果が第15図である。これを第9図の180分泥水を流したコアの実験結果と比較すると、両者は同じ傾向にあることがわかる。このことより水の飽率が大きいことは滲透率の回復率に影響がないことを知ることができる。

V. 結論およびその応用

遊離ガス層に対する泥水の侵入の問題を明らかにするために研究を行った。人工のコアを使用した実験結果の要点を記せば、次のようになる。

(1) コアに侵入して流れる泥水の速度は、コアの滲透率が小さくなると幾分小さくなる。

(2) 泥水の圧力が高くなるほど、泥水の侵入速度は大きくなる。すなわち、泥水は井戸より速くまで侵入する。

(3) 泥水に混合されたパラライトは、泥水の速度をわずかに小さくする。

(4) 泥水に混合された CMC は、0.2 % の混合割合で明らかに泥水の侵入速度を小さくする。この CMC の作用はコアの滲透率が小さくなるほど著しい。

(5) 泥水の侵入方向とは逆に空気を送る実験では、泥壁のとり除かれたコアでは、非常に低い圧力で空気が流れ得る。

(6) 泥壁をつけたまゝのコアでは、空気は高い圧力にならないと流れ始めない。このことはコアの滲透率が小さいほど著しい。

(7) 泥水に対する CMC またはパラライトの混合は、空気の流れ始める圧力に影響を与えない。また、コアが初め水で飽和されたことも、空気の流れ始める圧力に関係がない。

(8) 泥水の侵入したコアの空気の滲透率の回復は、コアの滲透率が大きいほど、また空気の圧力が高いほど大きい。特に滲透率が100 md以下のコアでは、空気の圧力が高くないと滲透率の回復率は0に近い。

(9) 泥水をコアの端より出始めるまで流したもの(20~50分)より、180分間泥水を流したもののの方が滲透率の回復は小さい。

(10) 泥水に混合された CMC またはパラライトは滲透率の回復に影響を与えない。また、初めコアが水で飽和されていたことも回復に関係がない。

以上の結論は人工のコアーを使用した実験の結果より導いたものである。実際の遊離ガス層の掘鑿にこれを応用するには、少し説明を加えなければならない。例えば、泥水特に濾過水の侵入は、ガス層に含まれる粘土鉱物の膨潤の原因となり、ガスの流れを大きく妨げる。このようなことを加え、さらに前回の研究¹⁾の結果も加えて、実際の作業について注意すべきことを記すならば、以下のようになる。

(1) ガスの圧力が非常に高い場合を除けば、一般に遊離ガス層に対して、泥水は侵入しやすい。そして侵入した泥水はガスの流れを非常に妨げる。

(2) 遊離ガス層の滲透率が小さいほど、泥水の害は大きく現われる。特に 100 md 以下の遊離ガス層の開発には注意しなければならない。

(3) 遊離ガス層を掘鑿する場合には、泥水の比重をなるべく小さくすること、およびガス層が泥水に接触する時間をなるべく少なくすること（すなわち速く仕上げる

こと）の 2 項目が最も必要なことである。

(4) 泥水の侵入を防ぐ 1 つの方法は、泥水のベントナイトの濃度を高くすること、または CMC を混合することである。特に滲透率が 100 md 以下の遊離ガス層を掘鑿する時には、必ず CMC を 0.2 % 程度混合することを実行しなければならない。

(5) ガスの流れを最も妨げるものは井戸の周囲の泥壁である。それで井戸仕上げにさいしては、泥壁をなるべく薄くすること、あるいは泥壁をとり除くように努力すべきである。例えばケーシングに対するスクラッチャーの使用などを考えるべきである。

最後に、この研究の実験に従事された佐藤光夫助手に対し、厚く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 藤井清光：遊離ガス層に対する泥水の侵入，石油技術協会誌，23 巻 6 号，昭和 33 年 11 月。