論文・報告

セメントに関する実験*

藤井 清 光**
樋口 豊***

(昭和30年4月2日受理)

Experiment on Cement

By

Kiyomitsu FUJII and Yutaka HIGUCHI

Abstract: Properties of cement slurry are determined by means of a thickening-time tester, and compressive strength of hardened cement is also determined.

I. 緒言

水止めは鑿井作業において重要な地位を占める。これはその後の鑿井作業に大きな影響を及ぼし、あるいは油またはガスの採収井としての価値を大きく左右する。従つて水止めに使用するセメントの性質は、水止め作業に適したものであることを要する。最近は掘鑿井が深くなり、あるいは特殊の井戸仕上を行うため、セメントに関して特殊の性質が要求されることが多い。この実験はセメント液、ならびにそれが硬化したものの性質に関して研究する目的で行われた。従来定性的には判明していることがらを、実験により数字的に明らかにし、泥水に新しく使用されるようになった薬品などの影響を調べた。

II. 実験方法

実験に使用した試料は普通のポर्टランドセメント(宇部興産製)であつて、その比重は3.13である。このセメントを水と混合し、その性質を3種類の実験により調べた。まず最初のものは極く単純な現場的な実験であるリングテストである。これはセメント液の流動性を簡単に調べるものである。ガラス板の上に高さ3cm、内径3cmの真鍮リングを置き、それにセメント液を満し、リングを引き上げる。1分後にガラス板の上に抜がつた

セメント液の直径を測定する。この数字によつて流動性の大小を知る。

第2の実験はセメント液の凝結の経過の測定である。ポンプで送られたセメント液は、目的の場所に達するまでは十分な流動性を保つことが必要である。このことは深い井戸の場合、特に温度が高い場合には重要である。時間の経過によるセメントの consistency の変化の測定を、コンシストメーターにより行う。この装置は約500ccのセメント液を入れたやゝ細長い円筒状容器を縦に置き、これを縦軸を中心として、モーターにより30~40 r.p.m. の範囲で一定に回転する。この容器の中心軸には、羽状の器具がボールベヤリングに支えられて取り付けられてある。容器のなかの液の粘性が低い時には、それは回転しないが、液の粘性が高い時には、容器の回転につれてそれは回転しようとする。この回転は棒の先についた鍾によつて妨げられているので、鍾とつり合つて適当な所で静止する。棒の傾き具合は目盛で示される。すなわち液の粘性とコンシストメーターの目盛の読との間には一定の関係がある。液の粘性を Macmichael 粘度計で測定して、以上の関係を求めたものが第1図である。回転容器は水のなかに入れてあり、セメント液を一定の温度に保つことができる。このようにしてセメント液を一定温度に保つて、長い時間回転してセメント液の凝結の状態を知ることができる。

第3の実験は固まつたセメントの圧縮強さの測定であ

* 文部省科学研究費による研究

** 東京大学助教授

*** 大多喜天然瓦斯株式会社

第1図 コンシストメーターの目盛と絶対粘性との関係

第2図 圧縮強さに対する試料の大きさの影響

第3図 試料の空气中硬化と水中硬化との比較

る。これは種々の状態のセメント液が固まった場合に、どのような性質を示すかを知るためのものである。これは高さ10cm、直径5cm（または4cm）の容器のなかにセメント液を入れ、約10°Cの温度で固まらせる。一定の時間の後に取り出して、これを圧縮試験器に取り付け、毎秒5kg位の割合で荷重をかけて、セメント柱が破壊し始める時の圧力を測定する。予備実験として、まず試料の大きさの影響を測定した。直径5cmのものと4cmのものとを比較した実験結果が第2図に示してある。これはセメントに対して40%（重量）の水を混合し、空气中で固まらせたものである。セメントの一

般的傾向として、圧縮強さは時間の経過とともに増加しており、直径の大きい方が遙かに強くなっている。以下の実験ではすべて直径5cmの試料につき実験を行った。次にセメントを空气中で固まらせた場合と水中で固まらせた場合との比較に関して測定した。これは第3図に示してあるように、水中で固まらせたものの方が強くなっているが（水の混合率はともに40%）、その差は余り大きくはない。以下の実験ではすべて空气中で試料を固まらせた。

III. 水の混合率の影響

乾いたセメントに対して水を混合した場合に、できたセメント液の比重と容積とを測定した結果が第4図に示してある。このセメント液の流動性をリングテストにより求めたものが第5図である。これはセメントに水を加

第4図 セメントの濃度とセメント液の比重および容積との関係

第5図 リングテストによるセメントの流動性の測定結果

え、約2分間かきまぜてからリングに入れて測定したものである。水とセメントとをかきまぜて5分間静止してから、リングに入れて測定した結果を第5図に示してある。セメントに対する水の混合率が減少するほど、流動性は減少し、特に混合率が40%以下において流動性の減少は顕著である。セメント液を僅かの時間でも静止させると、凝結の傾向を示すことも、この図より知ることができる。

凝結の経過に対する水の混合量の影響は第6図より知ることができる。実験はセメント液の比重が1.90のもの1.69のものにつき測定され、水の混合量が多いと凝結しにくいことを示している。

固まつたセメントの強さは、セメント液中の水の量が

第6図 セメントの濃度の凝結に対する影響

第7図 セメントの濃度の圧縮強きに対する影響

多いほど弱い。これは第7図と第8図より知ることができる。これはセメントに対する水の混合率が35%、40%および50%（いずれも重量百分率）の試料につき測定したものである。

以上の実験結果より、セメント液中の水の割合が、水止めに大きな影響を与えることを知ることができる。すなわち固まつたセメントの強さだけからいえば、水の割合は小さい方がよい。しかしポンプで長い距離を送ることを考えると、水の割合を大きくして流動性を大きくした方がよい。特にセメント液が、目的の場所に行かないうちに凝結する可能性があることを考えると、水の割合が小さいことは危険である。深い井戸で温度が高い場合には、この点に特に注意しなければならない。

IV. 温度の影響

温度が高くなるとセメント液の凝結は促進される。これは第9図より知ることができる。温度の影響は非常に顕著であるので、水止め作業においては十分注意しなければならない。

硬化したセメントの強さに対する温度の影響に関しては、実験を行わなかった。これに関して研究した結果によれば²⁾、温度が90°C以下の場合には強さが減少することはない。セメントの種類によつて多少の差はあるが、約90°Cを越えると強さは顕著に減少する。それで浅い井戸では、この点に関して注意する必要はないが、約2,500 m以上の深い井戸では注意を要する。

第8図 セメントの濃度の圧縮強さに対する影響

第9図 温度の凝結に対する影響

V. ベントナイト混合の影響

最近になって、水止めに使用するセメントに2~15%のベントナイトを混合する傾向があり、よい結果を得ている^{3) 4)}。セメントにベントナイトを混合すれば以下のような利点がある、(1) セメント液の比重が小さくなる——このことは特にセメントが地層のなかに逃げやすい場合に有利である、(2) セメント液より水が分離しにくい、(3) 硬化の強さが小さいので、井戸仕上げて孔をあける場合に容易である、(4) スキーズセメンティングに用いてよい結果となる、(5) ベントナイトを8~12%混合し、120°C までの温度でセメント液をよい性質に保つ、(6) セメントを節約することができるので経済的である。

実験に使用したベントナイトの量は、セメントに対して2、4および10%(重量)である。ベントナイトを加えると流動性が下るので、多量の水を混合する必要がある。40%の水を加えたセメント液と同じ流動性になるように、リングテストにより調べながら、ベントナイト混合セメント液に水を加えた。その結果、セメントに対して加えた水の割合(重量%)と液の比重とは第1表のようになった。この試料の凝結状態を測定したものが第10

第 1 表

ベントナイト 混 合 量 (重量%)	水 合 量 (重量%)	液の比重
0	40	1.89
2	42	1.86
4	45	1.80
10	54	1.74

図である。この結果によれば、ベントナイトを多量に混合すると凝結は速くなる傾向となる。同じようにして試料を作り、圧縮強さを測定した結果は第11図である。ベントナイトを混合することによりセメントは弱くな

る。この傾向は他の研究の場合にも現われていて、38°C と 60°C にセメントを保った時の24時間の強さは、第2表のようになっている。この表には最大および最小に水を含む時の液の比重と、24時間後のセメントの圧縮強さが示してある。最大の水とは、セメントより水が分離しない範囲の最大の水量であり、最小のとは、ポンプで送り得るために必要な最小の水量である。

第10図 ベントナイトの凝結に対する影響

第11図 ベントナイトの圧縮強さに対する影響

第2表 ベントナイト混合セメントの
24時間の圧縮強さの

ベント ナイト	比 重		圧縮の強さ kg/cm ²			
			38°C		60°C	
%	最大水	最小水	最大水	最小水	最大水	最小水
0	1.85	2.02	169	337	285	598
2	1.76	1.91	143	223	208	287
4	1.69	1.82	85.8	143	129	230
6	1.64	1.77	59.8	111	91.4	196
8	1.59	1.72	51.2	101	82.3	176
10	1.55	1.65	47.2	74.0	73.8	117
12	1.51	1.60	27.8	66.1	43.6	71.8
14	1.47	1.59	17.2	44.0	26.7	71.0
16	1.44	1.56	10.7	29.5	19.0	50.6
18	1.41	1.55	8.4	20.4	15.5	45.0
20	1.39	1.53	6.8	19.7	10.1	34.5

VI. 薬品の作用

セメントに薬品を加えて、セメントの性質を変えることがある。あるいは掘鑿泥水中に含まれている薬品が、水止めの時にセメントに入り影響を与えることがあり得る。特に最近では高い pH の泥水が使われたり、あるいは粘性を降下させるために特殊の薬品が使われるので、この傾向が強くなってきた。この理由で数種類の薬品をセメント液に加えて実験した。

第12図には塩化カルシウム1%, 苛性ソーダ0.1%および1%を各セメントに加えた時の凝結の経過を示してある。いずれも凝結を速める傾向がある。塩化カルシウム1%混合の圧縮強さは、7日経過で235 kg/cm²となり、約30%の増加となつている。苛性ソーダ1%混合の場合には強さは余り変化しない。

タンニンは泥水の粘性降下剤として広く使われている。

タンニンに関して実験した結果は、第13図と第14図に示してある。

セメントに対しタンニンを0.05~0.5%(重量)加えて実験を行つた。タンニンは凝結を後らせる作用が顕著であるので、注意を要する。タンニンにより圧縮強さも著しく小さくなつてゐる。やはり泥水の粘性降下剤である六磷酸ソーダにつき圧縮強さを測定したが、0.5%と1%の混合で7日経過の場合には、これを入れないものと比較してほとんど差はなかつた。

第12図 苛性ソーダおよび塩化カルシウムの凝結に対する影響

第13図 タンニンの凝結に対する影響

第14図 タンニンの圧縮強さに対する影響

第16図 フミン酸の圧縮強さに対する影響

第15図 フミン酸の凝結に対する影響

最近になって泥水に使用されるようになったフミン酸* について行つた実験結果は、第15図と第16図に示してある。セメントに対しフミン酸を0.05~0.5% (重曹)を加えて実験した。フミン酸は凝結を後らせ、圧縮強さを小さくする。

VII. 結 論

セメント液の凝結、ならびにセメントの圧縮強さに関して実験を行い、以下のような結論を得た。

- (1) セメント液中の水の含有率の増加は、セメント液の比重を下げ、凝結を後らせ、圧縮強さを小さくする。
- (2) 温度の上昇は凝結を促進する。

* 掘鑿水用として特に帝国石油株式会社技術研究所で作つたもの

(3) ベントナイトの混合により、凝結は促進され、圧縮強さは減少する。

(4) 苛性ソーダと塩化カルシウムは凝結を促進し、タンニンとフミン酸は凝結を後らせる。塩化カルシウムは圧縮強さを増加させるが、タンニンとフミン酸は圧縮強さを減少させる。

この実験に関しては東大工学部鉱山学科の採油実験室および採鉱実験室の諸氏より援助して戴いた。ここに感謝の意を表わす次第である。実験に使用したフミン酸は帝国石油会社技術研究所より戴いたもので、併せて感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 上床国夫・浦井淳次：高温度におけるセメント泥の実験，石油技術協会誌，第9巻，第4号，昭和16年7月。
- 2) M. A. Swayze：Effect of High Temperatures and Pressures on Cements, *Oil and Gas Journal*, August 2, 1954.
- 3) D. K. Smith：Physical Properties of Gel-Cement, *Petroleum Engineer*, April, 1951.
- 4) B. E. Morgan and G. K. Dumbauld：New Developments in the Use of Bentonite in Cements, *Oil and Gas Journal*, April, 20, 1953.
- 5) C. D. Saunders and F. W. Nussbaumer：Oil-Well Cementing Materials, *Oil and Gas Journal*, July 7, 1952.