

セメント硬化体の凍結乾燥に伴う長さ変化

岩手大学 学生員 ○大林 敦裕
岩手大学 学生員 宮入 斎
岩手大学 正員 藤原 忠司

1. はじめに

セメント硬化体は内部にある水分の逸散により収縮する。この水分逸散は環境条件としての温度や湿度によって大きく異なり、一般には温度の高い夏期における乾燥が著しいと考えられる。一方、冬期においては、気温が低く、セメント硬化体中の水分が凍結する場合もあり得るが、このあいだに乾燥及びそれに伴う収縮が発生するか否かについては確かめられていないように思われる。

本研究ではこの点を実験的に明らかにすることとした。

2. 実験概要

本実験では、セメントペースト供試体を用いた。セメントには早強ポルトランドセメントを使用し、水セメント比を35%と50%の2種類とした。また、供試体は4×4×16cmの角柱とした。

1週間養生後、供試体の6面すべてをコーティングし、2週間-20℃、60%R.H.の冷凍庫で凍結させた。その後コーティングをはずし、冷凍庫内に静置した。この静置期間における長さ変化および質量変化に注目する。静置期間は、1, 2, 4, 8週間の4種類とした。以後、これを凍結乾燥と呼ぶ。その後、再び6面すべてをコーティングし、20℃、60%R.H.の恒温恒湿室で融解させた。

これと比較するために、1週間養生後、コーティングせずに、20℃、60%R.H.の恒温恒湿室で乾燥させる供試体も作製した。以後、この条件を普通乾燥と呼ぶ。

長さ変化は、転倒式コンパレータによって測定した。

3. 実験結果及び考察

図-1は、 $w/c=35\%$ のペースト硬化体を、4週間凍結乾燥させた場合の測定結果を示している。

封かん凍結期間における収縮の要因は、温度変化によるものと考えられる。セメントペーストの線膨張係数は 16×10^{-6} 程度とされており、この期間の温度差が40℃であることから、収縮値は 0.64×10^{-3} となり、この値は実験値にほぼ等しい。したがって、この期間における凍結に伴う膨張はほとんど生じないと推察される。

凍結乾燥期間において、供試体の質量は減少している。すなわち、低温でしかも内部の水分の多くが凍結していると思われる状態でも、乾燥は生じることになる。この乾燥は、凍っている水分が液体状を経ずに気体となる昇華、あるいは-20℃では凍っていない微小な空隙からの水分の逸散によると思われるが、いずれが卓越しているかは、本実験の範囲内では、定かでない。

いずれにせよ、この乾燥によってペーストは収縮する。その収縮量は、図の場合、4週間で $\epsilon_1=500 \times 10^{-6}$ 程度であり、決して無視できない量である。凍結乾燥終了後、供試体を融解させ、その時点で求めたひずみは、基準となる

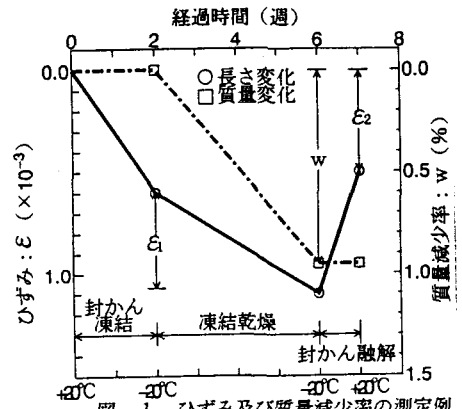


図-1 ひずみ及び質量減少率の測定例 ($w/c=35\%$ 4週凍結乾燥)

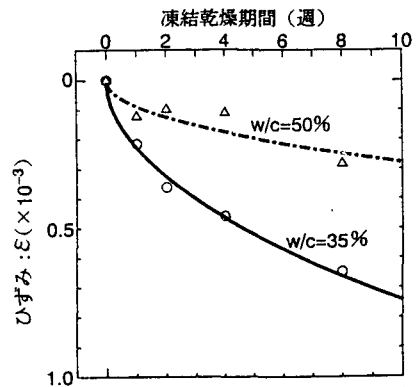


図-2 凍結乾燥期間とひずみの関係

養生直後と同一温度での測定値であり、図の ε_2 は、初期からの長さ変化を示している。変化は収縮であり、しかも ε_1 にほぼ等しい。したがって、この収縮値は、凍結乾燥中にもたらされたものであり、逆説的ではあるが、凍結乾燥期間における長さ変化の測定値 ε_1 の妥当性を裏付けているものと解釈できる。ここでは以下、 ε_1 の値に着目する。

図-2, 3は、凍結乾燥期間と収縮ひずみおよび質量減少率との関係を示しており、図-4は質量減少率とひずみの関係である。ここでの質量減少率とは図-1の w である。これらの図より、同一凍結乾燥期間で比較すれば、 $w/c=35\%$ に比し、 $w/c=50\%$ の収縮が小さく、質量減少率は逆に大きい傾向が認められる。そのため質量減少率が同じ場合は、 $w/c=50\%$ の収縮がきわめて小さい。これは普通乾燥の場合にも見られる傾向である。この水セメント比の違いによる収縮および質量減少率の差には、内部の細孔構造が関連していると思われる。すなわち水セメント比が大きい場合には、長さ変化にそれほど関連しない比較的大な空隙が多く、そのため質量減少の割にひずみが小さいと推察される。

図-5は、 $w/c=35\%$ の場合の質量減少率と収縮ひずみの関係を示しており、ここでは凍結乾燥と普通乾燥とを比較している。

普通乾燥の場合、乾燥の初期の段階では、相対的に粗大な空隙からの水分逸散が先行し、質量減少の割に収縮が進行しないのに対し、その後は微細孔からの水分逸散が行われるため、収縮が顕著になると考えられており、図の結果も、そのような傾向を示している。一方、凍結乾燥の場合は、このような傾向になく、むしろ初期の段階における収縮がやや大きい。したがって乾燥方法により、収縮の現れ方は異なることになる。凍結乾燥の場合、凍結水の昇華あるいは未凍結水の逸散によって乾燥すると思われ、これが普通乾燥とは異なる質量減少-ひずみの関係をもたらすと推察されるが、詳細は定かでない。もし、これが明らかになれば諸説入り乱れているセメント硬化体の収縮メカニズムに関し、有益な知見が得られる可能性があり、今後の重要な研究課題であると言える。

4. あとがき

-20℃という低温の環境下においても、セメント硬化体は乾燥収縮することが判明した。ただし、凍結乾燥8週までの測定であり、絶対値的検討は無理であるが、傾向としては通常の乾燥に比して進行が遅く、収縮ひずみも小さいようであり、現実的にはこれを過大視する必要はないように思われる。それよりは、収縮のメカニズムを考察する観点から、興味深い現象を示しており、今後さらにこの点を検討する必要がある。

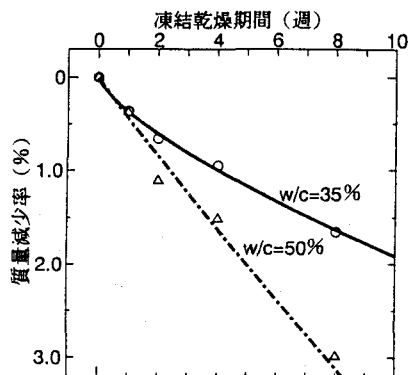


図-3 凍結乾燥期間と質量減少率の関係

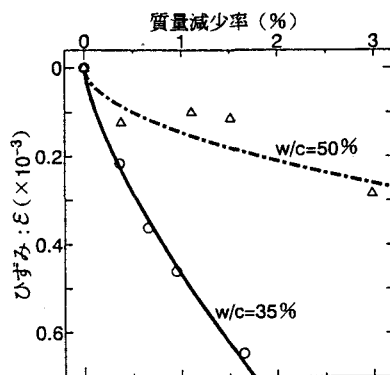


図-4 ひずみと質量減少率の関係

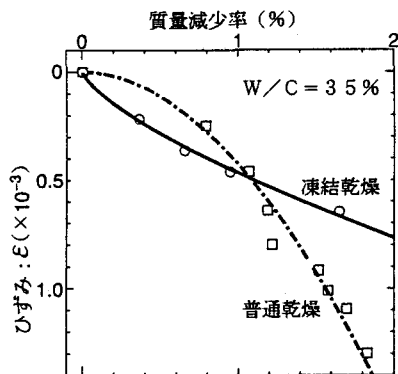


図-5 凍結乾燥及び普通乾燥におけるひずみと質量減少率の関係