

コンクリートの乾燥収縮におよぼす活性シリカの影響

広島大学

正員 ○米倉 亜州夫

学生員 伊藤 祐二

東京工業大学

正員 氏家 勲

1. まえがき コンクリートの乾燥収縮機構については多くの研究が行なわれ、多くの機構が考え出されていいるが、どの機構も乾燥収縮を完全に説明することはできない。そこで本研究は、コンクリートの乾燥収縮に大きく影響を及ぼすと思われる細孔率および細孔量を変化させるため、活性シリカ混入率及び水セメント比を変化させ、養生条件を普通、オートクレープ養生の2種類を行ない、乾燥収縮量と重量変化を測定して、乾燥収縮機構について検討した。

2. 実験概要 コンクリートの使用材料はポルトランドセメント、太田産川砂、可部町産碎石、高性能減水剤および活性シリカである。活性シリカはフェロシリコン生産時の副産物で平均粒径1μm級の超微粉末である。表-1に実験計画も、図-1に乾燥収縮試験用供試体を示す。配合は $W_c + S_s = 25 \sim 65\%$ 、 $S_s / S_c = 0 \sim 30\%$ である。乾燥収縮用供試体はクレープ試験用供試体と同じ条件にするため10×10×40cmの直方体供試体の中心軸にミースを取りつけミースに対して垂直な面に11マウントを塗り四面乾燥になるように作製した。供試体の両側側面には測定用コンタクトが埋め込んである。表-2は製造時の養生条件を示す。供試体は材令1日で脱型しその表面をワイヤブラシにて水洗しその後おのおのの養生を行ない、材令28日まで20℃の水中で標準養生を布いた。圧縮試験はφ10×20cm円柱供試体にて材令28日で行なった。乾燥開始時に供試体の長さとして温度20℃湿度50%の室内にて乾燥収縮量及び逸散量を測定した。

表-1 実験計画

	25	30	40	50	65
0%	N	N	N	N	N
	AC	AC	AC	AC	AC
15%	N	N	N	N	N
	AC	AC	AC	AC	AC
30%	N	N	N	N	N
	AC	AC	AC	AC	AC

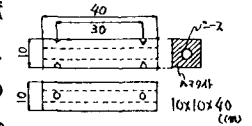


表-2 養生条件

養生法	温度	湿度	養生期間	備考
普通養生	20℃	—	28日	20℃±2℃
オートクレープ養生	60℃	100%	10日間	5日間自然乾燥

3. 実験結果及び考察 図-2-1は活性シリカ混入率($S_s / (S_c + S_s)$)と単位ペースト量(P)で乾燥収縮ひずみ(ϵ_p)を割った値(ϵ_p / P)との関係を示したものである。単位ペースト量で乾燥収縮ひずみを割った値をもったのはコンクリートの乾燥収縮において収縮する部分はセメントペースト部分であるからセメントペーストの量によって乾燥収縮量が変わってくるので単位ペースト量当りに結果を整理して比較しやすくするためである。この図よりコンクリートの ϵ_p / P は普通養生した場合において活性シリカ混入率が増大するに従って小さくなっている。しかし活性シリカ混入率の増大に伴う乾燥収縮の減少の割合はシリカ混入率0%~15%の場合、15%~30%の場合に比べて大きく、15%~30%において非常に小さくなっている。一方、オートクレープ養生した場合の活性シリカ混入率の増大に伴う ϵ_p / P は普通養生した場合と反対に活性シリカが混入されるに従って大きくなっている。図-2-2はセメント水比(S_w)と ϵ_p / P との関係を示したものである。この図より ϵ_p / P の値は活性シリカ無混入で普通養生した場合が最も大きく活性シリカ混入でオートクレープ養生した場合が最も小さくなっている。又、普通養生した場合の ϵ_p / P の増大に伴って減少している。その減少する割合は活性シリカ混入率0%でオートクレープ養生した場合特に小さくなっている。以上を示したごとく ϵ_p / P の値が活性シリカ混入率、 S_w および養生方法によって異なるのはセメントペースト中のポロミニーの量や細孔分布に影響されるためと思われる。

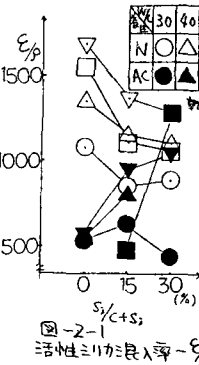


図-2-1 活性シリカ混入率- ϵ_p

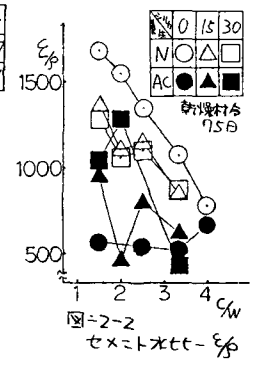


図-2-2 セメント水比- ϵ_p

図-3-1は活性シリカ混入率と逸散水量(重量変化率 ΔW %)の関係を示したものである。この図より、活性シリカ混入率の増大に伴う逸散水量はどの養生を行なった場合においても、またどの水セメント比においても活性シリカ混入率が増大するにつれて少なくなっている。図-3-2は水セメント比30%で活性シリカ混入率0%と30%での乾燥日数と ΔW の関係を示している。この図より、 ΔW は活性シリカ無混入の場合と活性シリカ混入率30%の場合とを比べると、活性シリカ無混入で普通養生した場合より活性シリカ無混入でオートクレープ養生した場合の方が、同一乾燥日数において大きくなっている。しかし活性シリカ混入率30%の場合は、普通養生とオートクレープ養生した場合の逸散のしかたが同じようになっている。以上の結果と、水分はセメントペースト中の細孔量と密接な関係があること、細孔径の大きいものから順に逸散しやすいことより、活性シリカを混入すると細孔径が小さくなっていると思われる。

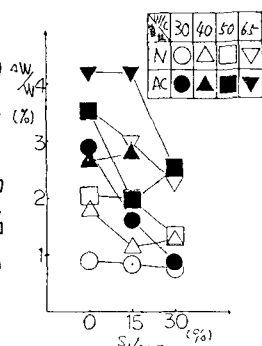


図-3-1 活性シリカ混入率- ΔW

図-4は ΔW と ϵ/p の関係を示したものである。この図より、 ΔW の増大の割合に対する ϵ/p の増大の割合は普通養生した場合の方が、オートクレープ養生した場合より大きく、またこの割合は活性シリカ混入率が増大するにつれて普通養生した場合は大差ないが、オートクレープ養生した場合は大きくなっていることが認められる。このように同一逸散水量でも養生条件と活性シリカ混入率によつて ϵ/p が異なるということから、乾燥収縮は長期間乾燥後、水分が残留している細孔にも関係していることが考えられる。湿度50%湿度20℃で乾燥した場合、16Å以上の細孔に存在する水は長期の乾燥日数においては逸散してしまうといわれている。又、毛細管張力が発生するのは水の存在する細孔にメニスカスが形成される場合であり、細孔径の小さいものほど大きい。セメントゲルのゲル空隙は15~30Åで、平均直径は18Åであるといわれている。従つて細孔半径は9Åとなり、これらの空隙に含まれている水分は湿度50%では逸散しないことになる。そこで約400日乾燥後供試体を炉乾燥し、その炉乾燥前後の重量差を15~30Åの細孔に存在していた水分(残留水)と考えて、その分だけ15~30Åの細孔に毛細管張力が発生しているものと考えることができる。

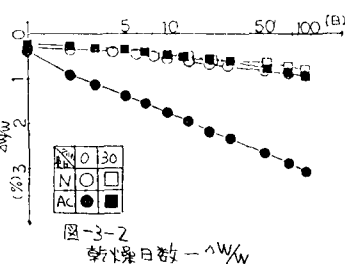


図-3-2 乾燥日数- ΔW

図-5はコンクリートの場合と同一の水セメント比でかつ単位セメントペースト量がどの配合の場合も、0.408と一定にした場合の4x4x16cmモルタル供試体の長期乾燥後の残留水量と圧縮強度との関係を示したものである。この図より、残留水量は圧縮強度が大きいほど大きく、又活性シリカを混入すると大きくなる。特にオートクレープ養生した場合、活性シリカ無混入の場合の残留水量は、普通養生の場合に比べて著しく小さい。一方、活性シリカを混入しオートクレープ養生した場合の残留水量は、無混入の場合より同一圧縮強度において著しく大きくなっている。従つて活性シリカ無混入でオートクレープ養生した場合の乾燥収縮が普通養生した場合より同一圧縮強度において著しく小さくなるのは、発生する毛細管張力が小さいためであり、活性シリカを混入した場合に乾燥収縮が無混入の場合より大きくなるのは、毛細管張力が大きいためといえる。このことは、乾燥収縮が毛細管張力説で説明できることの裏付となっていると思われる。又、図-5より、高強度であるほど発生している毛細管張力による応力は大きいにもかかわらず、図-2-2より明らかのように、 ϵ/p の値は高強度になるほど小さくなっている。これは、高強度コンクリートであるほど、コンクリートのヤング係数が大きいことおよびクリープ変形量が小さくなることによるものと思われる。

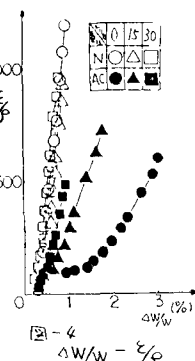


図-4 ΔW - ϵ/p

図-5はコンクリートの場合と同一の水セメント比でかつ単位セメントペースト量がどの配合の場合も、0.408と一定にした場合の4x4x16cmモルタル供試体の長期乾燥後の残留水量と圧縮強度との関係を示したものである。この図より、残留水量は圧縮強度が大きいほど大きく、又活性シリカを混入すると大きくなる。特にオートクレープ養生した場合、活性シリカ無混入の場合の残留水量は、普通養生の場合に比べて著しく小さい。一方、活性シリカを混入しオートクレープ養生した場合の残留水量は、無混入の場合より同一圧縮強度において著しく大きくなっている。従つて活性シリカ無混入でオートクレープ養生した場合の乾燥収縮が普通養生した場合より同一圧縮強度において著しく小さくなるのは、発生する毛細管張力が小さいためであり、活性シリカを混入した場合に乾燥収縮が無混入の場合より大きくなるのは、毛細管張力が大きいためといえる。このことは、乾燥収縮が毛細管張力説で説明できることの裏付となっていると思われる。又、図-5より、高強度であるほど発生している毛細管張力による応力は大きいにもかかわらず、図-2-2より明らかのように、 ϵ/p の値は高強度になるほど小さくなっている。これは、高強度コンクリートであるほど、コンクリートのヤング係数が大きいことおよびクリープ変形量が小さくなることによるものと思われる。

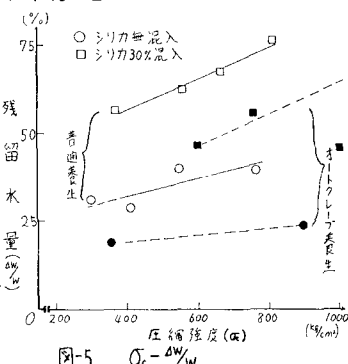


図-5 σ_c - ΔW