

(138) コンクリートの収縮に及ぼす使用材料、配合および養生方法の影響

オリエンタル建設(株) 技術研究所 正会員 ○呉 承寧

同 上 正会員 今井昌文

同 上 佐藤重一

同 上 小林俊秋

1. はじめに

近年、コンクリートの高性能化に伴い、高ビーライト系セメント、シリカフェームおよび石灰石微粉末などの新しい材料や、超高強度または高流動などの新しいコンクリートの配合設計法や、断熱養生などの新しい促進養生方法は、プレストレストコンクリートに徐々に応用されている。これらの新材料、新配合および新養生工法がコンクリートの収縮特性に大きな影響を及ぼすことが予想されるが、これについての研究は数少ないのが現状である。本研究は、これらの新材料、新配合および新養生方法を用いたコンクリートの収縮特性を調べ、従来のプレストレストコンクリートに用いたコンクリートと比較したものである。

2. 試験の概要

2. 1 使用材料

本試験には、表-1に示す材料を使用した。

表-1 使用材料の種類および特性

材 料	種 類	物 理 特 性
セメント	早強ポルトランドセメント(C)	比重=3.14、比表面積=4520cm ² /g
	高ビーライト系セメント(C)	比重=3.20、比表面積=4170cm ² /g、C ₂ S=46%
混和材	200号石灰石微粉末(LS)	比重=2.60、比表面積=3840cm ² /g
	シリカフェーム(SF)	比重=2.20、比表面積=200,000cm ² /g
細骨材	砕砂(S)	比重=2.61、粗粒率F.M.=2.80
粗骨材	2005号 碎石(G)	比重=2.63、粗粒率F.M.=6.78
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤(SP)	液状

2. 2 コンクリートの配合

本試験では、コンクリートの収縮特性に及ぼすコンクリートの配合の影響を調べるために、超高強度コンクリート、高流動コンクリート、断熱養生に適する高強度低単位水量コンクリートおよび比較するための従来のプレストレストコンクリートに使用されているコンクリートなどの4種類のコンクリートを使用した。それらの配合を表-2に示す。

2. 3 養生方法

コンクリートの収縮特性に及ぼす養生方法の影響を解明するために、収縮試験を開始する前に、試験体を有効材齢3.7日になるまで、それぞれの養生方法によって養生した。養生方法としては下記の標準養生、蒸気養生および断熱養生にした。

標準養生：20℃の室内に湿潤養生

蒸気養生：20℃で5時間前養生→3時間で60℃まで上昇→60℃で5時間蒸気養生→3時間で外気温まで降温養生

断熱養生：発泡スチロールの断熱箱内養生。

表-2 コンクリートの示方配合

番号	セメントの種類	スラブの範囲 (%)	空気量 (%)	水結合材比 W/(C+SF) (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						備 考	
						水 W	セメント C	混和材		細骨材 S	粗骨材 G		混和剤 SP
								L	SF				
1	早強	18±2	2±1	39	45	156	400	0	0	745	1080	3.80	従来の配合
2	早強	18±2	2±1	35	45	140	400	0	0	837	1029	5.25	断熱養生用
3	早強	65±5	2±1	39	50	156	400	130	0	801	839	7.95	高流動用
4	早強	65±5	2±1	25	45	150	600	0	0	775	952	12.00	超高強度用
5	早強	65±5	2±1	25	45	150	540	0	60	766	940	12.00	
6	高ヒート	65±5	2±1	25	45	150	600	0	0	780	957	10.80	

注：LSは石灰石微粉末、SFはシリカフェームである。

2. 4 試験体の寸法および計測方法

乾燥収縮試験または自己収縮試験用試験体は共に高さ100mm、幅100mm、長さ400mmの角柱であるが、自己収縮試験用供試体はコンクリート内部の水分が蒸発しないように、その表面をアルミ粘着テープで封鎖した。

試験体の収縮ひずみを測定するために、予め型枠内に埋込みひずみ計を設置し、コンクリートの打設から連続的にひずみの計測を行った。

なお、試験体は収縮試験の開始から温度20℃相対湿度60%の恒温恒湿室内に保管した。

3. 試験の結果および考察

3. 1 コンクリートの収縮に及ぼすコンクリートの配合の影響

コンクリートの収縮（自己収縮+乾燥収縮）に及ぼすコンクリートの配合の影響を調べるために、表-2に示す普通コンクリート（No.1）、高流動コンクリート（No.3）および超高強度コンクリート（No.4）を用い、試験を行った。その結果を図-1に示す。図より、普通コンクリートに比べ、高流動コンクリートの収縮が小さくなり、超高強度コンクリートの収縮がかなり大きくなる事が分かる。

一般的に、コンクリートの収縮特性に及ぼすコンクリートの配合の要因の影響において、単位水量と単位セメント量の影響は最も大きいと考えられているが、本試験に用いた高流動コンクリートの単位水量および単位セメント量が普通コンクリートと同じにもかかわらず、その収縮が普通コンクリートより小さくなった。これについては、高流動コンクリートに相当量の石灰石微粉末が混入されていることより説明ができる。すなわち、混入された石灰石微粉末はコンクリートの骨材の間に充填し、コンクリートを緻密にさせ、コンクリート中の水分の移動および蒸発を障害し、コンクリートの乾燥収縮を低減させると考えられる。

一方、超高強度コンクリートの収縮は普通コンクリートよりかなり大きくなっている。超高強度コンクリートの配合中の単位水量は普通コンクリートとほぼ同程度であるが、単位セメント量が普通コンクリートの1.5倍で200kg多いため、セメントの水和による超高強度コンクリートの自己収縮が普通コンクリートに比べ大きいと考えられる。

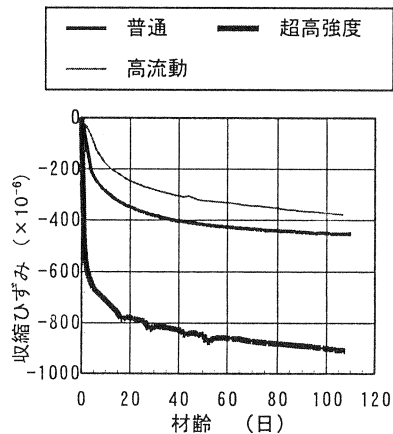


図-1 各種のコンクリートの収縮

もし同じ単位水量のあるコンクリートの乾燥収縮は同程度とすれば、超高強度コンクリートは、普通のコンクリートに比べ、乾燥収縮が同程度であるが、自己収縮が大きいため、トータル収縮が大きくなると思われる。

3. 2 コンクリートの収縮に及ぼす使用材料の影響

普通コンクリートおよび高流動コンクリートに比べ、超高強度コンクリートの収縮が大きい。用いるセメントまたは混和材の種類によって、収縮を低減することができる。図-2は早強セメント、高ビーライト系セメントおよびシリカフュームを用いた超高強度コンクリートの収縮である。この図より、高ビーライト系セメントを用いた超高強度コンクリート(No.6)は早強セメントを用いた超高強度コンクリートより、収縮がかなり小さいことが分かる。同様に、早強セメントをシリカフュームで10%置換した超高強度コンクリート(No.5)は早強セメント単体の超高強度コンクリートに比べ、収縮が約3割小さくなった。

超高強度コンクリートの収縮に及ぼすセメント種類および混和材の影響を解明するために、超高強度コンクリートの自己収縮ひずみを測定し、さらに、総収縮ひずみから自己収縮ひずみを引いて乾燥収縮ひずみを算出した。その結果、超高強度コンクリートの自己収縮をを図-3に、超高強度コンクリートの乾燥収縮を図-4に示す。

図-3より、早強セメント単体を用いた超高強度コンクリートの自己収縮ひずみは材齢120日まで約 450×10^{-6} に達する。図-3と図-2を比較すると、早強セメント単体を用いた超高強度コンクリートは、総収縮に自己収縮の占める割合が極めて高いことが明らかになった。したがって、超高強度コンクリートの収縮を減らすために、まず、超高強度コンクリートの自己収縮の低減が必要となる。

早強セメントの代わりに、高ビーライト系セメントを用いた超高強度コンクリートの自己収縮は、図-3に示すように、早強セメントを用いた場合に比べ、極めて小さくなっている。コンクリートの自己収縮において、用いるセメントの種類による差異はセメントの水和物の生成に関係があると考えられる。自己収縮の大きい早強セメントでは、材齢と共に水和物エトリンガイトが減少しているのに対し、自己収縮の小さい高ビーライト系セメントではエトリンガイトが増加している[1]。コンクリートの自己収縮はエトリンガイトおよびモノサルフェート水和物の生成量と関係があると思われる[2]。

早強セメントをシリカフュームで10%置換した超高強度コンクリートの自己収縮は、図-3に示すように、置換していない場合に比べ、小さくなったが、超高強度コンクリートの自己収縮の低減に寄与する効果は、高ビーライト系セメントほど見られなかった。これはセメントの水和物の生成に及ぼす10%のシリカフュームの影響が高ビーライト系セメントより低いと関係があると考えられる。したがって、早強セメントを用いる超高強度コンクリートの自己収縮の問題に対して、早強セメントの代わりに高ビーライト系セメントを使用することは最も有効な方法と考えられる。

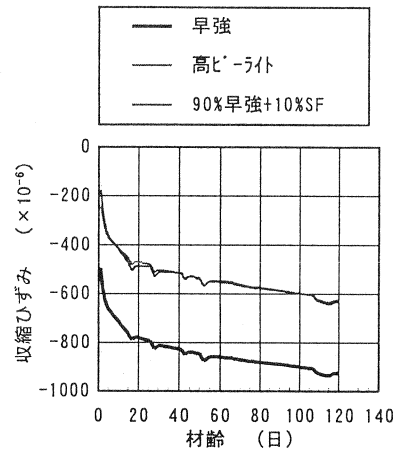


図-2 超高強度コンクリートの収縮に及ぼすセメント種類と混和材の影響

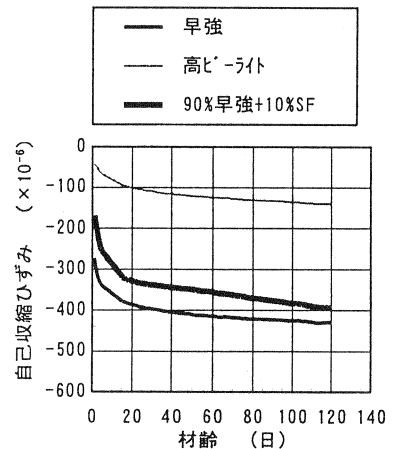


図-3 超高強度コンクリートの自己収縮

一方、超高強度コンクリートの乾燥収縮は、図-4に示すように、用いたセメントの種類と関係はなく、同程度であった。しかし、超高強度コンクリートの自己収縮の低減に効果のなかったシリカフュームは、10%の置換により、超高強度コンクリートの乾燥収縮を約4割低減させた。これは、微粒子のシリカフュームは、セメントおよび骨材の間隙を充填し、コンクリートを緻密にさせたと思われる。

3. 3 コンクリートの収縮に及ぼす養生方法の影響

コンクリートの養生方法は、図-5に示すようにコンクリートの収縮特性に影響を及ぼす。蒸気養生したコンクリートは同じ配合の標準養生したコンクリートに比べ、早期材齢の収縮が小さく、特に蒸気養生の間における収縮ひずみが標準養生の場合の約半分しかなかった。しかし、この養生方法によるコンクリートの収縮ひずみの差は材齢に伴って少なくなり、最終収縮ひずみが同程度となる傾向にある。

断熱養生したコンクリート(No.2)は、蒸気養生したコンクリートに比べ、早期材齢における収縮ひずみが大きい、材齢の増加と共に蒸気養生したコンクリートとの収縮ひずみの差が小さくなり、材齢300日に両者の収縮ひずみがほぼ等しくなった。さらに、収縮ひずみの経時変化の傾向から見ると、断熱養生したコンクリートは蒸気養生したコンクリートより、最終的な収縮ひずみが小さいことが予測できる。これは断熱養生したコンクリートの単位水量が蒸気養生したコンクリートの単位水量より少ないためと考えられる[3]。

4. 結論

本試験の範囲内において、以下の結論が得られた。

- ① コンクリートの収縮に及ぼす配合の影響について、普通のコンクリートに比べ、高流動コンクリートの収縮が小さくなるが、超高強度コンクリートの収縮が大きくなる。
- ② 超高強度コンクリートの収縮を低減するためには、高ビーライト系のセメントを用い、コンクリートの自己収縮を低減する方法とシリカフュームを用い、コンクリートの乾燥を低減する方法がある。
- ③ コンクリートの収縮に及ぼす養生方法の影響について、蒸気養生に比べ、標準養生または断熱養生の場合、早期材齢における収縮は大きくなったが、最終的な収縮ひずみはほぼ同程度または小さくなる。

参考文献

- 1) 田澤栄一、宮澤伸吾等：各種セメントを用いたセメントペーストの自己収縮、第21回セメント・コンクリート研究討論会報告集、pp.69～pp.74、1994
- 2) 高橋俊之、中田英喜等：セメントペーストの自己収縮に及ぼす水和反応の影響、コンクリート工学論文集、Vol.7、No.2、pp.137～pp.142、1996
- 3) コンクリート工学協会：コンクリート便覧、第二版、技報堂、pp.262～pp.263、1996

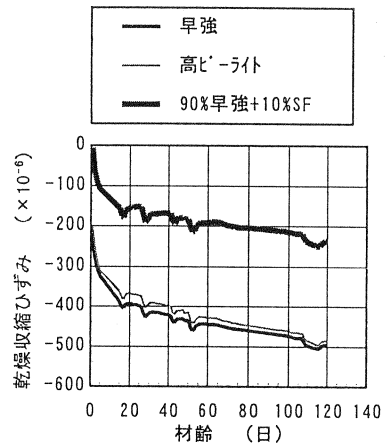


図-4 超高強度コンクリートの乾燥収縮

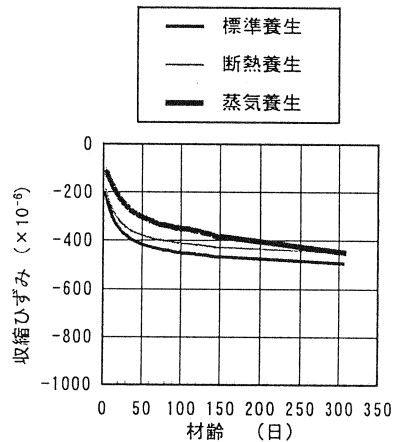


図-5 コンクリートの収縮に及ぼす養生方法の影響