

シリカフュームを用いた高強度コンクリートの低収縮化の検討

太平洋セメント(株)	正会員	○兵頭 彦次
同上	正会員	谷村 充
同上	正会員	中村 秀三

1. はじめに

近年、構造物に対する耐久性向上や長大化の流れから高強度コンクリートの使用実績が増えてきており、最近ではその圧縮強度が 100N/mm^2 を超える高強度コンクリートの実用化が進められている。一方で、高強度コンクリートは自己収縮が大きくなることが知られており¹⁾、その低減化技術の確立はひび割れ制御の観点から非常に重要である。これまで筆者らは圧縮強度 80N/mm^2 レベルの高強度コンクリートを対象として、普通あるいは低熱ポルトランドセメントを用いた場合の収縮低減剤や膨張材の自己収縮抑制効果について検討してきた²⁾。また、シリカフュームを用いた 100N/mm^2 レベルの高強度コンクリートについても、その自己収縮やRC部材に生じる自己収縮応力が、低熱ポルトランドセメントを用い、膨張材と収縮低減剤を組み合わせることで、大幅に低減できることが既に明らかとされている³⁾。しかしながら、これら個々の材料を単独で用いた場合や膨張材使用量を変化させて組み合わせた場合の自己収縮抑制効果については十分に検討されていない。そこで本研究では、シリカフュームを用いた圧縮強度 100N/mm^2 程度の高強度コンクリートを対象とし、収縮低減剤あるいは膨張材を単独で使用した場合や膨張材と収縮低減剤を併用した場合における自己収縮抑制効果について実験的に検討した。

2. 実験概要

使用材料：セメントには普通ポルトランドセメント(以下N, 密度 3.16g/cm^3 , 比表面積: $3310\text{cm}^2/\text{g}$)あるいは低熱ポルトランドセメント(以下L, 密度 3.22g/cm^3 , 比表面積: $3280\text{cm}^2/\text{g}$)を、混和材にはシリカフュームは(記号, 密度 2.20g/cm^3 , 比表面積: $20\text{m}^2/\text{g}$)を使用した。細骨材には静岡県小笠産陸砂(表乾密度: 2.60g/cm^3 , 吸水率: 1.44% , 粗粒率: 2.64)、粗骨材には茨城県岩瀬産砕石(最大寸法: 20mm , 表乾密度 2.64g/cm^3 , 吸水率: 0.82% , 粗粒率: 6.68)を使用した。膨張材には市販のCSA系(密度: 2.96g/cm^3)、収縮低減剤には市販の低級アルコールアルキレンオキシド付加物を使用した。また、混和剤にはポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した。

表-1 実験水準

W/B (%)	セメント種類	収縮低減剤量(kg/m^3)	単位膨張材量(kg/m^3)			
			0	30	40	50
22	N	0	N0-0	—	—	—
	L	0	L0-0	L0-30	L0-40	L0-50
		6	L6-0	L6-30	L6-40	L6-50

実験水準とコンクリート配合：表-1に実験水準ならびに

各水準に対する記号を示す。コンクリート配合は、水結合材比を22%とした。セメントに対し10質量%のシリカフュームを内割で置換した。収縮低減剤を含む単位水量を 175kg/m^3 、単位粗骨材絶対容積を $0.315\text{m}^3/\text{m}^3$ の一定とした。膨張材量は単位量で30, 40 および 50kg/m^3 とし、セメントに対して内割で置換した。収縮低減剤の添加量は 6kg/m^3 の一定とした。高性能減水剤の添加量はスランプフローが $60\pm 5\text{cm}$ の範囲となるように調整し、空気量は2.0%以下とした。

試験方法：自己収縮ひずみを測定する供試体は、寸法を $100\times 100\times 400\text{mm}$ とし、各配合に対し2本作製した。成型方法は、日本コンクリート工学協会の「セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(案)」(以下JCI案)に従って行った。材齢約1日の時点で脱型を行った後、すぐに供試体の全面をアルミ箔粘着テープ(厚さ 0.05mm)でシールし、 20°C の試験室内で養生した。長さ変化の測定はJCI案に従って行い、その原点はJIS A 1147による凝結の始発時間とした。供試体中心部の温度を熱電対により測定し、コンクリートの熱膨張係数を $10\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ として温度ひずみを補正した。長さ変化の測定は材齢91日まで行い、供試体2本の平均値を自己収縮・膨張ひずみとした。また、全ての配合について材齢28日および91日における圧縮強度(20°C 水中養生)を、JIS A 1108に準拠して測定した。

3. 結果および考察

図1.に材齢28日, 91日における圧縮強度と単位膨張材量の関係を示す。材齢28日において、Nセメントを用いた配合は 120N/mm^2 程度、Lセメントを用いた配合は概ね $100\sim 110\text{N/mm}^2$ 程度であった。材齢91日において、Nセメントを用いた配合は 110N/mm^2 程度で若干低下し、Lセメントを用いた配合は $100\sim 130\text{N/mm}^2$ 程度であった。このように収縮低減剤の添加や単位膨張材量の増加が、圧縮強度を低下させる傾向が見られた。

キーワード：高強度コンクリート, 自己収縮, 膨張材, 収縮低減剤, 低熱ポルトランドセメント, シリカフューム
連絡先(千葉県佐倉市大作2-4-2, 電話: 043-498-3905, FAX: 043-498-3890)

図2.にN0-0およびL0-0における自己収縮ひずみと材齢の関係を示す。材齢91日における自己収縮ひずみは、Nセメント、Lセメントに対して 850×10^{-6} および 500×10^{-6} 程度であり、Lセメントを使用することによって、60%程度に自己収縮ひずみが抑制された。

図3.に収縮低減剤を 6kg/m^3 添加したL6-0とL0-0の自己収縮ひずみを示す。収縮低減剤を添加することによって自己収縮ひずみが抑制され、材齢1日、28日および91日におけるL0-0の自己収縮ひずみは、220, 360および 500×10^{-6} 程度に対し、L6-0自己収縮ひずみは、185, 305および 420×10^{-6} 程度であった。収縮低減剤を添加した自己収縮ひずみは、無添加の配合の自己収縮ひずみに対し、材齢に拘わらず85%程度と一定であった。

図4.に材齢7日、28日および91日における自己収縮ひずみと単位膨張材量の関係を示す。いずれの配合においても、単位膨張材量を増加するとともに自己収縮ひずみは抑制された。いずれの単位膨張材量においても、収縮低減剤を添加した配合は無添加の場合と比べて自己収縮ひずみが小さくなった。単位膨張材量30kg以下の範囲では、収縮低減剤の有無に拘わらず単位膨張材量10kgあたりの補償量は 40×10^{-6} 程度であった。単位膨張材量を30kg以上の範囲では、収縮低減剤を添加した配合は無添加の配合と比べて単位膨張材量の増加に対する自己収縮の補償割合が大きくなった。

図5.に材齢28日および91日における、収縮低減剤と膨張材を併用した配合の自己収縮補償量(L0-0の自己収縮ひずみを基準とする)を示し、収縮低減剤および膨張材を単独で用いた場合の自己収縮補償量が占める割合を示す。図より、単位膨張材量40kg、50kgの配合において、収縮低減剤と膨張材の補償量を重ね合わせた量よりも、両材料を併用した場合の自己収縮補償量が大きく、相乗効果が見られた。材齢91日で相乗効果が占める割合は、単位膨張材量40kgおよび50kgの配合に対しそれぞれ32%および31%であった。単位膨張材量30kgにおいては、材齢に拘わらず自己収縮補償量に相乗効果が占める割合は小さかった。相乗効果に対する理由の一つとしては、収縮低減剤の使用が、膨張材の膨張作用を受け止める周りの硬化体組織の形成時期やその速度に変化を与えていることが考えられる。また、収縮低減剤が、膨張材の水和反応に影響していることも考えられ、より厳密な効果の分離を行うためには、これらのことを明らかにする必要がある。

4. まとめ

本実験において以下のことが明らかとなった。(1)低熱ポルトランドセメントを用いた場合、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比べて、材齢91日における自己収縮ひずみが60%程度に抑制された。(2)収縮低減剤を用いた場合の自己収縮ひずみは、無添加の場合と比べて材齢に拘わらず85%程度であった。(3)収縮低減剤と膨張材を併用することによって個々の材料を単独で用いた場合と比べて大きな自己収縮抑制効果を得られた。

参考文献

- 1) 田澤榮一ほか：コンクリートの自己収縮，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.561-566，1992。
- 2) 兵頭彦次ほか：膨張材を混和した高強度コンクリートの長さ変化に及ぼすセメント種類の影響，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，V-337，pp.674-675，2001
- 3) R.SATO et al.: Experimental studies on reduction of autogenous shrinkage and its induced stress in high-strength concrete, Proceedings of the 2nd international research seminar in Lund, pp.163-171, 1999

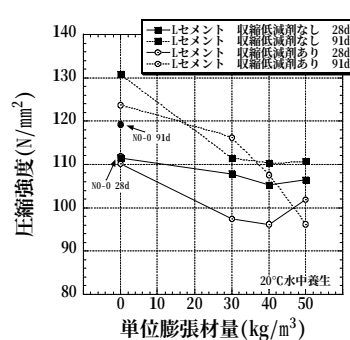


図1.単位膨張材量と圧縮強度の関係

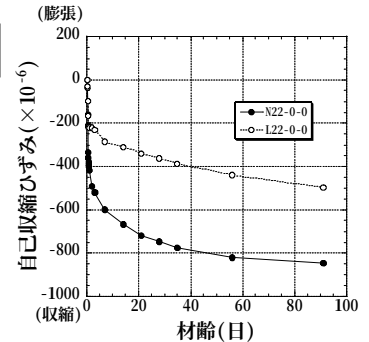


図2.セメント種類が異なる場合の自己収縮ひずみ

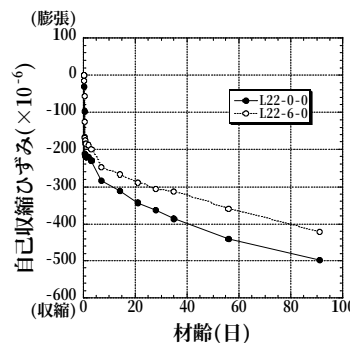


図3.収縮低減剤を混和した場合の自己収縮ひずみ

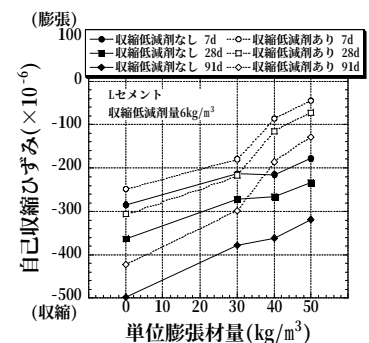


図4.自己収縮ひずみと単位膨張材量の関係

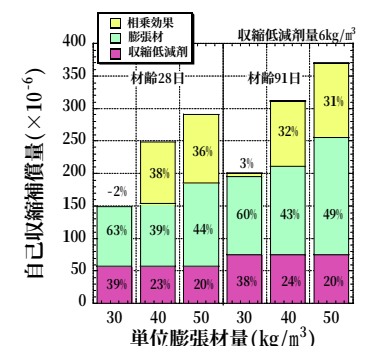


図5.収縮低減剤と膨張材を併用した場合の自己収縮補償量