



Experimental investigation on drying shrinkage behavior of cementitious composite concerning various influential factors

その他（別言語等）のタイトル	各種要因を考慮したセメント系材料の乾燥収縮挙動に関する研究
著者	ZHANG Wenyan
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第344号
学位授与年月日	2013-09-26
URL	http://hdl.handle.net/10258/2661

氏名	張文艶	チャン ウェンイエン
学位論文題目	Experimental investigation on drying shrinkage behavior of cementitious composite concerning various influential factors (各種要因を考慮したセメント系材料の乾燥収縮挙動に関する研究)	
論文審査委員	主査	教授 濱 幸雄
		教授 溝口 光男
		准教授 菅田 紀之

論文内容の要旨

コンクリートのひび割れの宿命的原因として乾燥収縮が挙げられる。そこで様々な要因が乾燥収縮挙動に及ぼす影響を明らかにする必要がある。本研究の目的はセメントの種類、高炉スラグ微粉末 (GGBFS) の粉末度、養生材齢、細骨材・粗骨材種類および低減剤 (SRA) 混和材など様々な要因がセメント系複合材料の乾燥収縮挙動に及ぼす影響を検討することである。また、細孔構造、水和物の気泡組織および SRA 溶液の特徴に基づいて SRA の使用による耐凍害性低下の原因を検討した。

1. 細骨材種類がモルタルの乾燥収縮に顕著な影響を及ぼすものの、コンクリートに対する影響は顕著ではない。粗骨材のひずみ、細・粗骨材の平均比表面積および直径 6-30nm の粗骨材細孔容積が増加するにともない、コンクリートの乾燥収縮率も増加する。これは粗骨材の特性がコンクリートの乾燥収縮に大きな影響を及ぼすことを示している。また、コンクリートにおける乾燥収縮特性が粗骨材の吸水率、単位水量と骨材の単位量を考慮して求めた全水量と静弾性係数によって影響を受けることを明らかにした。

2. 異なる GGBFS 粉末度、セメント種類および養生材齢が乾燥収縮特性に及ぼす影響を検討するために行った実験結果からは、乾燥開始材齢 7 日と 28 日による収縮量はほとんど認められなかった。しかし、GGBFS がセメントの種類によって乾燥収縮に及ぼす影響が異なり、普通セメントに GGBFS を混和した場合、乾燥収縮量に及ぼす影響は小さいものの、中庸熱、低熱セメントでは、GGBFS 粉末度が高いほど収縮量は増大した。また、水蒸気吸着法によって ESW 理論と BET 理論から得られた比表面積は良く一致し、比表面積が大きくなるほど乾燥収縮量が増大する傾

向が見られた。モルタルにおいて、直径 6-30nm の細孔量が多くなるほど収縮量が增大する傾向がみられた。

3. 低い表面張力をもつ収縮低減剤 SRA-S と SRA-H においてセメント系複合材料で良好な収縮低減効果が認められた。しかし、アルコール系の SRA-H では空気連行性の低下により耐凍害性が低下するということが明らかとなった。また、セメントと SRA 種類が変化した場合には乾燥収縮に関与する細孔容積として直径 30nm 以下に限定することはできなかった。

4. 統計的手法を用いることで、SRA の有無によるモルタルの乾燥収縮に影響を及ぼす細孔径の範囲が直径 10-50nm と 20-30nm 程度に関連していることを明らかにした。さらに、分散分析法 (ANOVA) から乾燥収縮における各要因およびそれらの交互作用によって、乾燥収縮を低減するための最適調合を提案した。中庸熱セメント、GGBFS 無混和で、高炉スラグ細骨材を用い、セメント質量に対して 2.3% 添加量の収縮低減剤を混合したモルタルの収縮率が最も小さいと判定した。

ABSTRACT

Drying shrinkage is a phenomenon that may lead to inevitable cracking in many concrete structures. It is necessary to elucidate the drying shrinkage behavior affected by various influential factors. Therefore, the purpose of this research is to investigate the drying shrinkage behavior of cementitious composites affected by various affecting factors, such as cement type, ground granulated blast furnace slag (GGBFS) fineness, curing age, fine aggregate, coarse aggregate and shrinkage reducing admixture (SRA) admixture. Moreover, the frost resistance degraded due to SRA was also investigated by taking into consideration pore structure and air void system of hydration products and SRA solution characteristics.

1. Fine aggregates significantly affect the drying shrinkage in mortar, but concrete. The drying shrinkage strain of concrete specimens proportionally increases with the increase of aggregate shrinkage strain, average specific surface area and pore volume of 6~30nm in diameter of aggregates, which implies the significant influence of aggregate characteristics on drying shrinkage behavior in concrete. It was also found that the drying shrinkage property in concrete can be affected by static modulus of elasticity and total amount of water content, in which the water absorption ratio, unit mass of aggregate and unit water content were considered.

2. An experimental research on the effects of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) fineness, cement type and curing age on the drying shrinkage and

microstructure of GGBFS blended cement mortar was investigated. The test results revealed that the drying shrinkage evolution can be significantly affected by GGBFS powder fineness, cement type, specific surface area and 6~30nm porosity, but curing age (7 days and 28 days). ESW specific surface area (SSA) due to water vapor adsorption isotherm is in a good agreement with BET SSA with a correlation factor of 0.95. Smaller SSA and less pore volume of 6~30nm would decrease effectively the drying shrinkage. As a result of this study, the prediction equation of drying shrinkage is proposed based on ESW SSA, the volume of 6~30nm diameter pore and mass loss.

3. Both SRA-S and SRA-H are very effective admixture for reducing cementitious composite due to lower surface tension, but cementitious composites with SRA have poor frost resistance, especially SRA-H. Moreover, frost resistance property could be enhanced by a certain high percent of air content. However, the pore volume involved in the drying shrinkage could not be limited to 30nm in diameter when the cement and SRA types were changed.

4. Through statistical investigation, the pore structure affecting on the drying shrinkage of mortar specimens without SRA and with SRA is related to 10-50nm and 20-30nm, respectively, which could provide a good perspective for the drying shrinkage behavior. Furthermore, by analyzed each factor and their interaction effect in the drying shrinkage by analysis of variance (ANOVA), we determined an optimization experiment design for reducing the drying shrinkage, that is moderate heat cement, without GGBFS admixture, blast furnace slag fine aggregate, SRA with 2.3% dosage by the weight of cement.

論文審査結果の要旨

モルタル、コンクリート等のセメント系複合材料では宿命的に生じる乾燥収縮がひび割れ発生の原因となり、コンクリート構造物の耐久性に大きな影響を及ぼしている。コンクリート構造物の長寿命化のためには、乾燥収縮に及ぼす様々な要因の影響を明らかにし、最適な材料の選択や調合条件を示すことが重要である。本研究では、セメント種類、細骨材・粗骨材種類、高炉スラグ微粉末の粉末度、収縮低減剤、養生条件、空隙構造等の各種要因がセメント系複合材料の乾燥収縮挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。

まず、骨材の影響について、モルタルの乾燥収縮挙動に対する細骨材種類の影響は大きく、スラグ系細骨材の乾燥収縮が小さいことを明らかにしている。また、コンクリートの場合には細骨材の影響よりも粗骨材の影響が卓越し、粗骨材自体の収縮特性、比表面積や 6~30nm の細孔領等のキャラクタが大きく影響していることを

明らかにし、コンクリートの乾燥収縮量を単位水量と骨材中の吸水率を考慮した全水量との関係で表している。次に、高炉スラグ微粉末の影響については、普通セメントの場合には乾燥収縮量に及ぼす影響が小さいが、中庸熱セメントと低熱セメントでは高炉スラグ微粉末の粉末度が大きいほど収縮量が増大することを示している。また、乾燥開始材齢による収縮量の差はほとんど認められないこと、水蒸気吸着法による ESW 理論および BET 理論から得られた比表面積が大きくなるほど乾燥収縮量が増大することを示し、直径 6~30nm の細孔量が大きくなるほど収縮量が増大することを明らかにしている。さらに、低い表面張力をもつ収縮低減剤の混入が乾燥収縮の低減に有効であることを確認し、その作用機構をインクボトル空隙量、比表面積の変化で説明している。

これらの結果を踏まえて、統計的手法により乾燥収縮に影響する細孔径の範囲として、収縮低減剤の使用の有無によりそれぞれを直径 20~30nm と 6~30nm と特定し、特に収縮低減剤を用いない場合の乾燥収縮率を ESW 比表面積と直径 6~30nm の細孔量との関係で表現する実験式を導いている。さらに、本研究の範囲での乾燥収縮低減のための最適条件として、中庸熱セメント、粉末度 3000cm²/g の高炉スラグ微粉末、高炉スラグ細骨材、石灰石砕石および収縮低減剤を用いる条件を提示している。

以上の成果は、乾燥収縮低減によるコンクリート構造物の耐久性向上に大いに資するものである。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があると認められる。