

超高強度コンクリート部材の初期応力・ 初期ひび割れ抑制に関する研究

技術研究所

鈴木雅博

1. はじめに

コンクリート構造物の長寿命化、橋梁における低桁高および建築における高層化が求められている。超高強度コンクリートは、高い圧縮強度を有するばかりでなく、硬化体の組織が緻密化することから高耐久化にもつながるため、実構造物への適用化より、社会的要請に対する1つの方策になると考えられる。しかし、超高強度コンクリートは、若材齢時に自己収縮ひずみが大きくなることが知られており、鉄筋などで拘束されることにより、ひび割れに対するリスクが大きくなる。また、昨今の研究では、自己収縮ひずみにより構造特性にも障害を与えることが報告されている。このため、超高強度コンクリートの特性を活かすことができない可能性があり、超高強度コンクリートの初期応力や初期ひび割れを抑制することが極めて重要となる。

自己収縮ひずみの発生機構として有力とされている説に、毛細管張力説がある。すなわち、組織の緻密化により、空隙形成速度が水の移動速度を上回る場合には間隙水が不飽和となり、空隙の相対湿度が低下し、自己乾燥が生じる。この自己乾燥により、間隙水にメニスカスが形成され、毛細管現象張力による負圧が発生し、硬化体が収縮するとされている。

これまでに提案されている自己収縮ひずみの低減方法を図-1に示す。自己収縮ひずみの低減方法は、鉱物組成からみて自己収縮が小さくなる高ビーライトセメント(低熱ポルトランドセメント)の使用、膨張材による化学的膨張ひずみの付与、収縮低減剤による表面張力の低下を抑制する方法、軽量骨材や高吸水性のポリマー(Super-absorbent polymers (SAP))を用いた内部養生方法を用いる方法およびこれらを組み合わせることによる方法などが提案されている。内部養生方法は、自己乾燥によるモルタル部の湿度低下することを利用し、含水率の高い軽量骨材あるいはSAPからモルタル部への水分移動により毛細管張力を抑制し、自己収縮ひずみを低減する方法である。しかしながら、膨張材と収縮低減剤の水結合材比20%を下回る超高強度コンクリート(本研究では水結合材比15%)の適用例がほとんどない。また、軽量骨材やSAPの場合には使用量が多くなると圧縮強度の低減が報告されている。

そこで本研究では、膨張材と収縮低減剤および高含水率であり、軽量骨材と天然骨材との中間的な破砕値を有する多孔性の廃瓦粗骨材を用いた内部養生方法を用いた低収縮超高強度コンクリートを提案することを目的とした。最終目的は、初期応力・初期ひび割れの抑制であることから、拘束応力試験もあわせて行い、拘束応力の観点からも検討を行った。

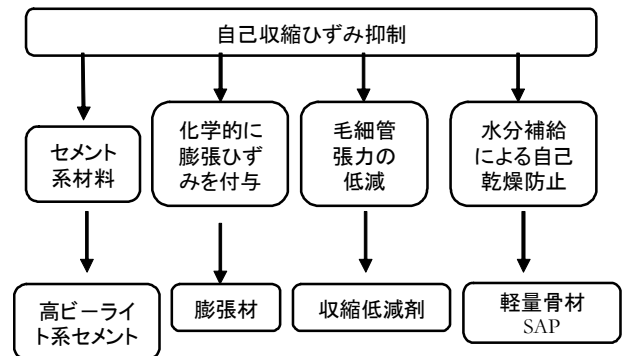


図-1 自己収縮ひずみの低減方法

2. 実験概要

2.1 使用材料・配合

セメントには、低熱ポルトランドセメント(記号 L)を使用した。混和材には、シリカフューム(記号 SF)、標準使用量 20kg/m^3 の石灰系低添加型膨張材(記号 EX)を使用した。なお、セメント種類 L と混和材 SF を混合する配合では、L の重量の 10.3% を混和材 SF にあらかじめ置換したプレミックス材(記号 SFLC、密度 3.08g/cm^3 、比表面積 $6210\text{cm}^2/\text{g}$)を使用した。収縮低減剤(記号 RA)には、低級アルコール系を使用した。廃瓦粗骨材(記号 GK)は島根県江津産を使用した(写真-1)。GK はカオリン粘土を焼成して作製した瓦の不適合品を破砕したものである。配合を表-1に示す。検討する配合は5種類とし、水結合材比は全て15%とし、単位水量は同一量の 155kg/m^3 とした。配合 G20 と G20-EX10-R では、それぞれ粗骨材全容積を廃瓦粗骨材でそれぞれ20%容積置換した。配合 G40 では、それぞれ粗骨材全容積を廃瓦粗骨材で40%容積置換した。

2.2 供試体

供試体寸法は自己収縮ひずみにおいて $100\times 100\times 400\text{mm}$ とし、自己応力供試体において $100\times 100\times 1400\text{mm}$ とした。自己応力供試体の鉄筋比は1.7%とした。

2.3 養生方法

供試体の養生は温度 20°C の室内にて打設し、材齢1日で脱枠を行い、温度 20°C 、湿度60%の室内にて封緘養生した。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

各配合の圧縮強度発現を図-2に、各配合の配合 SFLC に対する圧縮強度比を図-3にそれぞれ示す。全ての配合において、圧縮強度は材齢364日において 150N/mm^2 を超える結果となった。また、粗骨材容積の40%を廃瓦粗骨材に置換し

表-1 配合表

配合名	(W+RA)/ (SFLC+ EX)	単位量(kg/m ³)							SP**/(SFLC* + EX)	D***/(SFLC + EX)
		W	SFLC*	EX	S	G	GK	RA		
B	0.15	155	1033	-	435	944	-	-	0.023	0.00002
G40	0.15	155	1033	-	435	566	264	-	0.023	0.00002
G20	0.15	155	1033	-	435	755	147	6	0.023	0.00002
G20-EX10-R	0.15	149	1023	10	435	755	147	6	0.023	0.00002
EX20-R	0.15	149	1013	20	435	944	-	6	0.023	0.00002

写真-1 廃瓦粗骨材

*: SFLCは低熱ポルトランドセメントとシリカフェームとのプレミックス材

: SPは高性能AE減水剤, *: Dは消泡剤

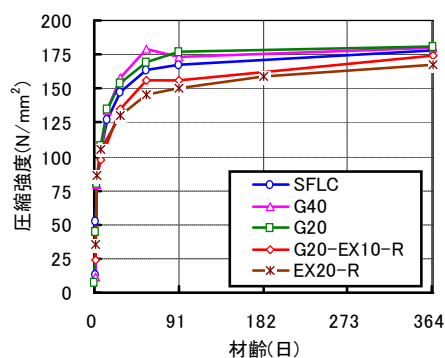


図-2 圧縮強度発現

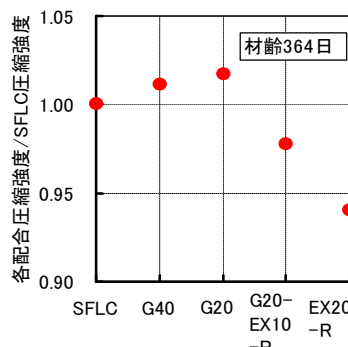
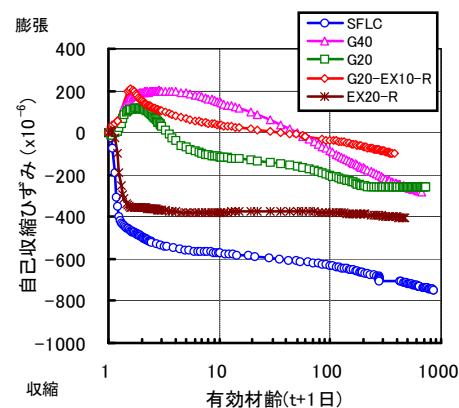
図-3 材齢365日における
圧縮強度比

図-4 自己収縮ひずみ発現

た場合においても圧縮強度の低下がなく、G40とG20の圧縮強度はSFLCより大きくなる結果を得た。この理由として、内部養生効果による水分移動により未反応の結合材が反応したことによりモルタル部の強度が高まったことが考えられる。なお、膨張材と収縮低減剤を混入した場合には、SFLCよりも圧縮強度が低下した。

3.2 自己収縮ひずみ

各配合の自己収縮ひずみ発現を図-4に示す。廃瓦粗骨材を混入した内部養生による収縮低減効果は、有効材齢1日において圧縮ひずみが生じることにより発揮している。ただし、有効材齢1日以降において収縮ひずみ側に転じ、その傾向は廃瓦粗骨材が多い場合に顕著となった。これを抑制するために廃瓦粗骨材の容積置換率を20%とし、さらに膨張材と収縮低減剤をいれることにより、収縮ひずみを大幅に低減することができた。

3.3 自己応力

各配合の自己収縮ひずみ発現を図-5に示す。G20-EX10-Rは、拘束応力を概ね0とすることができ、本研究において最も初期応力を低減する結果を得た。有効材齢10日以降における拘束応力の増進が大きくなる理由として、クリープによる応力緩和が期待できないことやコンクリートのヤング係数が大きいことなどが考えられる。

4. 結論

廃瓦粗骨材による内部養生方法、膨張材および収縮低減剤を併用することにより、超高強度コンクリートの耐久面と構造面を阻害する自己応力を低減する方策が提示できた。このことより、長寿命PC構造物を構築できる可能性を示した。

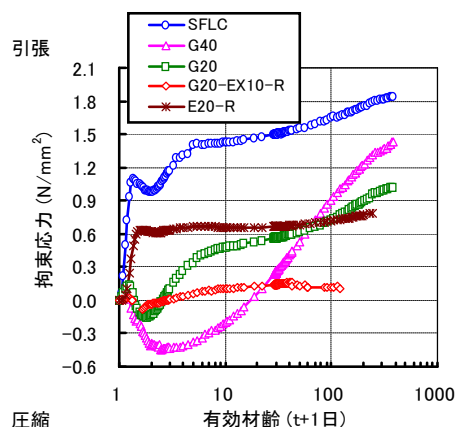


図-5 自己応力発現

5. おわりに

本稿は、筆者が博士後期課程の在籍期間に行った“超高強度コンクリート部材の初期応力・初期ひび割れ抑制に関する研究”の一部を概説したものである。筆者の入学を許可して頂き、5年間にわたる株式会社ピーエス三菱の皆様のご協力、ご支援に対して深謝致します。

Key Words: 廃瓦粗骨材, 内部養生方法による収縮低減方法, 低収縮超高強度コンクリート, 拘束応力, 自己収縮ひずみ



鈴木雅博