

論文

[1183] 軽量炭素繊維補強フライアッシュセメント複合体の強さ性状

正会員 大濱嘉彦 (日本大学工学部)
 正会員 出村克宣 (日本大学工学部)
 正会員 ○堀江 一 (日本大学大学院)
 鈴木幸治 (東北ポール)

1. はじめに

近年, 人口の都市集中による住宅の密集対策及び, 土地の高度利用を目的とした建築物の高層化, 地下空間利用の必要性などに伴い, 軽量且つ高靱性で, しかも不燃性を有する建築材料への関心が高まっている。この要求にこたえる新しい建築材料として, 各種繊維を使用した繊維補強複合体が開発され, 注目されている。現在使用されている繊維としては, 鋼繊維, ガラス繊維, 合成繊維及び炭素繊維があり, これらのうち, 耐アルカリ性に優れる繊維として炭素繊維が挙げられる。一方, 長年にわたって火力発電所から廃棄される石炭灰の有効利用が叫ばれており, その一部は, 埋立て土, セメント原料及びコンクリート用混和材として用いられている。著者らも, これまで, 石炭灰の有効利用を目的に, 繊維補強石炭灰-石灰-セッコウ複合体及び軽量炭素繊維補強フライアッシュセメント複合体の開発に成功している[1], [2]。

本研究では, 上述した軽量炭素繊維補強フライアッシュセメント複合体(軽量CFR-ACC)の強さ改善を目的に, シリカフューム及び高性能減水剤の使用を試みると共に, 軽量骨材として粒径の異なるパーライト及びシラスバルーンを使用した場合の強さ性状について検討する。

2. 使用材料

2.1 マトリックス用材料

マトリックス用材料としては, 普通ポルトランドセメント(C), JIS A 6201 (フライアッシュ)に適合するフライアッシュ(F)及びシリカフューム(Si)を使用した。なお, フライアッシュ及びシリカフュームの化学成分及び物理的性質を表-1及び表-2に示す。

表-1 フライアッシュの化学成分及び物理的性質

Chemical Compositions(%)									
ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Total
2.12	58.2	24.6	3.7	3.3	1.8	0.2	0.78	1.89	97.97
Physical Properties									
Size (mm)	Specific Gravity (20°C)		Water Content (%)			Organic Impurities			
< 4.4x10 ⁻²	2.12		0.10			Nil			

2.2 起泡剤及び減水剤

起泡剤及び減水剤としては, 市販の高級アルコール硫酸エステル系起泡剤(FA)及びポリアルキルアリルスルホン酸塩系高性能減水剤(WRA)を使用した。

表-2 シリカフェームの化学成分及び物理的性質

Chemical Compositions(%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
92.9	0.58	0.63	0.18	0.72	0.73	1.05	97.79

Physical Properties		
Specific Gravity (20°C)	Average Particle Size (μm)	Specific Surface Area (m ² /g)
2.2	0.15	20

2.3 炭素繊維

炭素繊維としては、市販のピッチ系炭素繊維(CF)を使用した。炭素繊維の物理的性質を表-3に示す。

表-3 炭素繊維の物理的性質

Type of Carbon Fibers	Average Length (mm)	Average Diameter (μm)	Specific Gravity (20°C)	Young's Modulus (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)
Pitch-Based	3.0	14.5	1.63	3.8x10 ⁵	8000

2.4 軽量骨材

軽量骨材としては、市販のパーライト[PL, PL-1(粒径;0.6~1.2mm), PL-2(粒径;1.2~2.5mm):比重;0.34]及びシラスバルーン[SB, SB-1(粒径;44μm以下:38~50vol%), SB-2(粒径;44μm以下:60~75vol%)]を使用した。

3. 試験方法

3.1 供試体の作製

これまでに得られた軽量炭素繊維補強フライアッシュセメント複合体の最適調合[2]をもとに、フロー値を180±5とした表-3に示す調合の軽量CFR-ACCをモルタルミキサーを用いて練り混ぜ、調製した。調製した軽量CFR-ACCを寸法40x40x160mmに成形し、1日湿空(20°C, 80%R.H.)養生後、オートクレーブ(180°C, 10kgf/cm², 3時間保持)養生を行い、供試体を作製した。なお、一部の軽量CFR-ACCについては、起泡剤添加率0及び0.1wt%として調製し、JIS A 1116[まだ固まらないコンクリートの単位容積重量試験方法及び空気量の重量による試験方法(重量方法)]に準じて、空気量を測定した。

3.2 強さ試験

供試体について、インストロン万能試験機を用い、クロスヘッド速度0.5mm/minとして、集中荷法により曲げ強さ試験を行った。又、曲げ強さ試験後の折片について、JIS R 5201(セメントの物理試験方法)に準じて、圧縮強さ試験を行った。

3.3 かさ比重の測定

JIS A 5416[軽量気泡コンクリートパネル(ALCパネル)]の7.2に規定される方法に従って、

表-4 軽量炭素繊維補強フライアッシュセメント複合体の調合

C : F : Si (by Weight)	[C+F+Si]:PL (by volume)	[C+F+Si]:SB (by volume)	FA Content (wt% of C+F+Si)	CF Content (vol % of C+F+Si)	WRA Content (wt% of C+F+Si)	Water- (C+F+Si) Ratio (%)	Flow	
100:100:0	1:0.3	——	0.1	0	——	36.5	182	
						38.0	183	
						42.0	185	
						45.5	178	
						50.0	179	
100:90:10	1:0.3	——	0.1	0	——	38.0	184	
						41.6	182	
						45.3	184	
						49.0	180	
100:90:10	1:0.3	——	0.1	1.5	——	49.0	182	
						39.2	183	
						31.5	179	
						49.0	182	
						39.2	181	
	1:0.3	1:0.3	1:0.3	0.1	1.5	——	31.5	178
							45.3	185
							39.2	184
							31.5	180
							42.0	184
							32.6	184
						28.2	182	

各供試体の絶乾かさ比重を求めた。

3.4 吸水試験

JIS A 6203 (セメント混和用ポリマーディスページョン) に準じて、供試体を110℃で恒量になるまで乾燥して、その重量を測定してから、20℃の水中に浸せきし、浸せき48時間後の重量を測定して、吸水率を求めた。

4. 試験結果及び考察

図-1 には、高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの曲げ強さと炭素繊維混入率の関係を示す。シリカフェーム混入の有無にかかわらず、炭素繊維混入率の増加に伴い、高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの曲げ強さは増大し、炭素繊維混入率1.5vol%でほぼ一定値を与える。又、いずれの炭素繊維混入率においても、シリカフェームセメント比10%の高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの曲げ強さは、シリカフェーム未混入(シリカフェームセメント比0%)のそれよりも相当に高く、この傾向は炭素繊維混入率1.0vol%以上において顕著である。換言すれば、炭素繊維混入率の大きいものほど、シリカフェームの混入効果が現れている。

図-2及び図-3には、高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの圧縮強さ及びかさ比重と炭素繊維

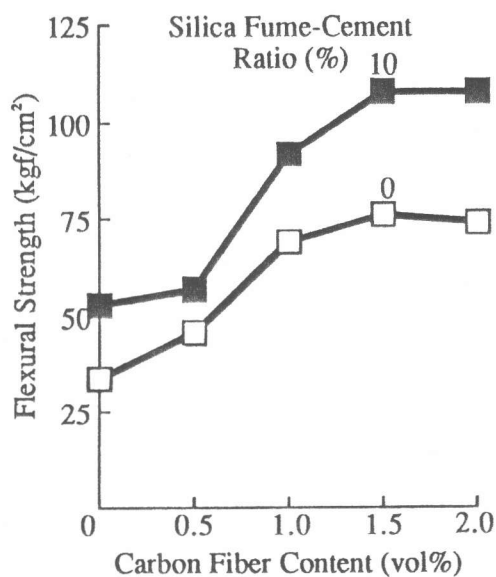


図-1 高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの曲げ強さと炭素繊維混入率の関係

混入率の関係を示す。シリカフューム混入の有無にかかわらず、炭素繊維混入率の増加に伴って、高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの圧縮強さは低下する。これは、炭素繊維の混入に伴って、マトリックス中に多くの気泡が連行されるためと考える。又、炭素繊維混入率にかかわらず、シリカフュームを混入することにより、かさ比重は若干増大するものの、高性能減水剤未添加CFR-ACCの圧縮強さは増大する。特に、炭素繊維混入率2.0vol%及びシリカフューム-セメント比10%の高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの圧縮強さは、シリカフューム未混入のその約2.6倍に達する。

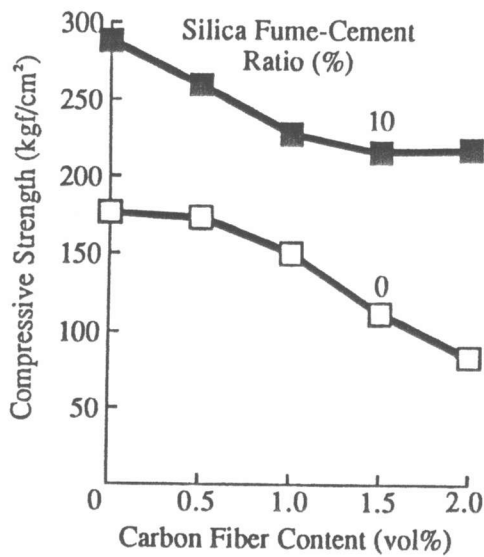


図-2 高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの圧縮強さと炭素繊維混入率の関係

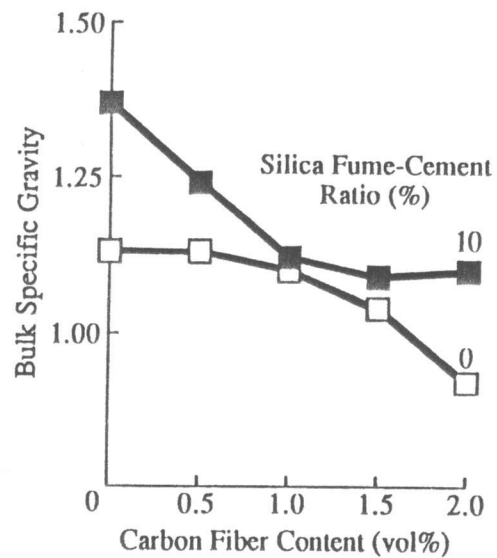


図-3 高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCのかさ比重と炭素繊維混入率の関係

なお、シリカフュームの混入によって、マトリックスの組織構造がち密になると共に、マトリックスの粘度上昇及びシリカフュームのボールベアリング効果によって、練り混ぜ中に炭素繊維の均一分散を促し、マトリックスと炭素繊維の結合を強化するものと考えられる。そのため、シリカフュームを混入することによって、高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの曲げ及び圧縮強さは改善されるものと推察される[3]。又、シリカフューム-セメント比10%の高性能減水剤未添加軽量CFR-ACCの圧縮強さ及びかさ比重は、炭素繊維混入率1.0vol%でほぼ一定となる。これは、炭素繊維混入による空気量の増加とシリカフューム混入による充てん性向上との相互作用によるものと推察される。

図-4には、各種パーライト及びシラスバルーンを軽量骨材として使用した軽量CFR-ACCの曲げ強さと高性能減水剤添加率の関係を示す。

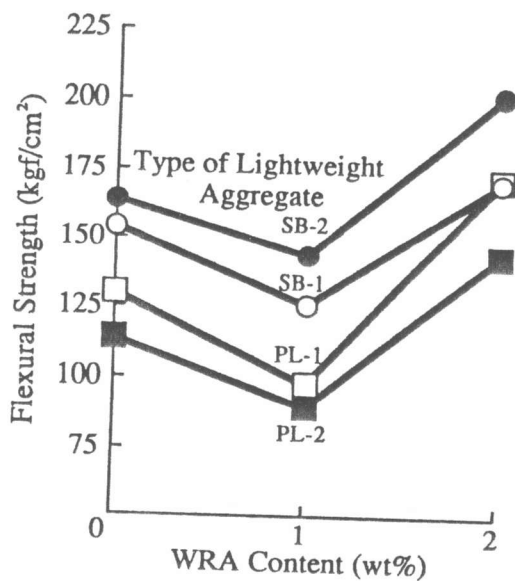


図-4 軽量CFR-ACCの曲げ強さと高性能減水剤添加率の関係

一般に、軽量CFR-ACCの曲げ強さは軽量骨材の種類によって大きく影響される。しかしながら、軽量骨材の種類にかかわらず、高性能減水剤を2wt%添加することによって、軽量CFR-ACCの曲げ強さは、130~200kgf/cm²を与え、高性能減水剤未添加のそれらの約1.3倍に達する。又、高性能減水剤添加率にかかわらず、軽量骨材としてシラスバルーンを使用した軽量CFR-ACCの曲げ強さは、パーライトを使用したその曲げ強さに比べて大きく、SB-2を使用したものが最大曲げ強さを与える。一方、いずれの軽量骨材を用いた場合にも、軽量CFR-ACCの曲げ強さは、高性能減水剤添加率1wt%で最小値を与える。

図-5には、各種パーライト及びシラスバルーンを軽量骨材として使用した軽量CFR-ACCの圧縮強さと高性能減水剤添加率の関係を示す。一般に、軽量骨材の種類にかかわらず、高性能減水剤を2wt%添加することにより、軽量CFR-ACCの圧縮強さは著しく増大する。特に、シラスバルーンを軽量骨材として使用した軽量CFR-ACCの圧縮強さは、450kgf/cm²以上であり、SB-2を使用したもののそれは約600kgf/cm²に達する。しかしながら、曲げ強さの場合と同様に、軽量骨材の種類にかかわらず、高性能減水剤1wt%の軽量CFR-ACCの圧縮強さは、高性能減水剤未添加のそれよりも若干小さい。調査表に示したように、高性能減水剤添加率の増加に伴って、その水セメント比が減少するにもかかわらず、軽量CFR-ACCの曲げ及び圧縮強さが、高性能減水剤添加率1wt%で減少することについて、本研究の限りでは明かでない。しかし、

図-6に示すように、高性能減水剤添加率1wt%で空気量の増大が認められることから、このような空気量の増大が影響しているものと推察される。なお、高性能減水剤の添加によって空気量が増大するのは、起泡剤の起泡効果になんらかの化学的影響を及ぼしているためと推察される。高性能減水剤添加率2wt%の場合には、これらの影響よりも、その減水効果によって、軽量CFR-ACCの曲げ及び圧縮強さは増大するものとする。

図-7及び図-8には、軽量CFR-ACCのかさ比重及び吸水率と高性能減水剤添加率との関係を示す。軽量骨材の種類にかかわらず、軽量CFR-ACCに、高性能減水剤を1wt%添加することにより、そのかさ比重は若干減少し、高性能減水剤添加率2wt%で増大する。このことに起因して、軽量CFR-ACCの吸水率はその逆の傾向を示す。又、一般に、パーライトを使用した軽量CFR-ACCに比べ

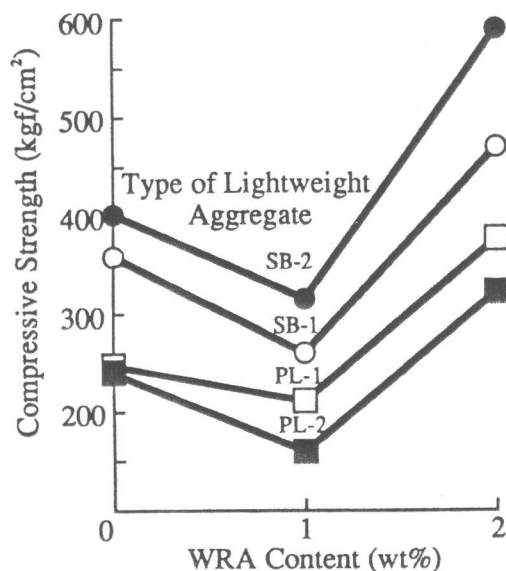


図-5 軽量CFR-ACCの圧縮強さと高性能減水剤添加率の関係

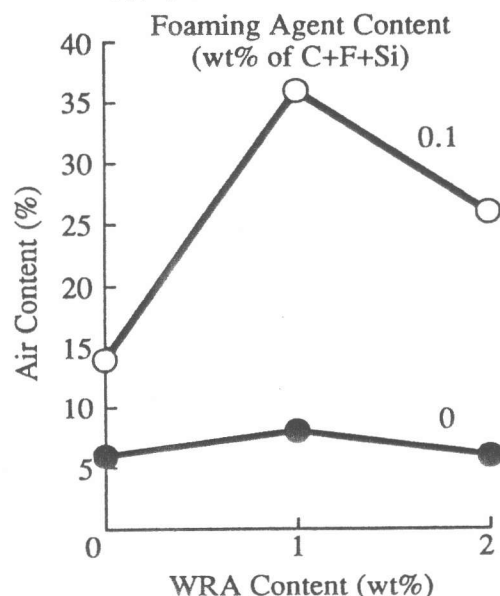


図-6 PL-1を使用した軽量CFR-ACCの高性能減水剤添加率と空気量の関係

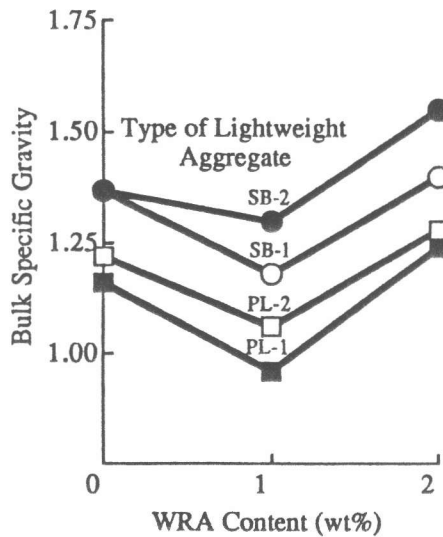


図-7 軽量CFR-ACCのかさ比重と高性能減水剤添加率の関係

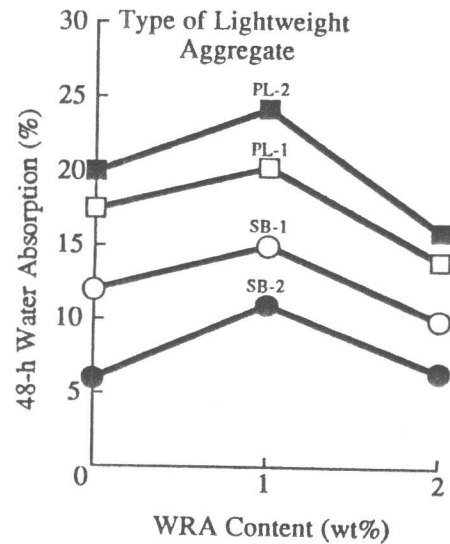


図-8 軽量CFR-ACCの吸水率と高性能減水剤添加率の関係

て、シラスバルーンを使用したもののかさ比重は大きく、吸水率は小さい。これらのことは、パーライトの組織自体に多くの空孔を含んでいること及び、シラスバルーンの粒径が、パーライトのそれに比べて著しく小さいため、充填性が向上し、軽量CFR-ACCの内部組織がち密になったことに起因するものと考えられる。

5. 結論

以上の結果を結論づければ次の通りである。

- (1) フライアッシュの一部をシリカフュームで10wt%置換することにより、かさ比重が若干増大するものの、軽量CFR-ACCの曲げ及び圧縮強さは増大する。しかし、炭素繊維混入率の増加に伴って、軽量CFR-ACCの曲げ強さは増大するものの、その圧縮強さは減少する。
- (2) 軽量CFR-ACCに高性能減水剤を2wt%添加することによって、かさ比重は若干増大するがその曲げ及び圧縮強さは増大する。
- (3) 本研究の範囲では、軽量CFR-ACCの強さは、使用する軽量骨材の種類によって異なるが、軽量骨材としてシラスバルーン(SB-2)を使用し、高性能減水剤添加率2wt%とすることによって、かさ比重約1.5、曲げ強さ約200kgf/cm²、圧縮強さ約600kgf/cm²を持つ軽量CFR-ACCの製造が可能である。

参考文献

- 1) 大濱嘉彦ほか：繊維補強石炭灰-石灰-セッコウ複合体の性質，日本建築学会東北支部研究報告集，No. 48，pp. 159-162，1986. 10
- 2) Ohama, Y., Demura, K. and Sato, Y.: Development of Lightweight Carbon Fiber Reinforced Fly Ash-Cement Composites, Proceedings of the International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, OXFORD & IBH PUBLISHING CO. LTD. Vol. 1, pp. 3.23-3.30, Dec. 1987
- 3) Ohama, Y., et al.: Properties of Carbon Fiber Reinforced Cement with Silica Fume, Concrete International, vol. 7, No. 3, pp. 58-62, Mar. 1985