

オートクレーブ養生による繊維補強モルタルの強度発現性に関する研究

宇都宮大学 学生会員 ○山田 克彦
宇都宮大学大学院 正会員 藤原 浩巳
宇都宮大学大学院 正会員 丸岡 正知

1. はじめに

オートクレーブ養生は、常温養生や常圧蒸気養生とは違い、気密性が高い鋼製缶の中に、成形したコンクリートを静置し、高圧飽和水蒸気下で養生することで、高強度の製品を短時間で得ることができるため、早期に出荷を可能とする。日本でも 1960 年代、ALC（軽量気泡コンクリート）にオートクレーブ養生を適用されて以来、コンクリートパイル、電柱など広く使われている¹⁾。

また、超高強度繊維補強コンクリート(UFC)はセメントを基材とした粉体や水に鋼繊維を添加することで、高い圧縮強度、曲げ強度や靱性を付与することができる。土木学会の指針(案)に基づく UFC の構造物の設計の特徴として、ひび割れ発生後も鋼繊維の架橋効果により引張応力を分担し、曲げ耐力の向上が期待できるという点が挙げられる²⁾。

本研究では、シリカフュームや高炉スラグ微粉末などの超高強度コンクリート用混和材料を使用せず、オートクレーブ養生をすることで、製造コストを抑え、かつ超高強度コンクリート並みの強度を有するコンクリートの開発を試みた。

オートクレーブ養生では、養生時に生成される鉱物であるトベルモライト群が早期強度発現の要因となっている。トベルモライトの生成には粉体中の SiO₂と CaO の比である SiO₂/CaO が重要であるとされている²⁾。本研究では結合材として珪石粉末およびフライアッシュを用いて、SiO₂/CaO が 1.00～1.20 の間で 5 水準の SiO₂/CaO を設定し、強度発現性を検討した。その後、珪石粉末置換とフライアッシュ置換で最も強度の出た SiO₂/CaO の各 1 配合ずつに銅繊維 4 種(繊維長:50*2.5、100*2.5、100*5.0、180*2.5)を混和して、強度発現性を検討した。

2. 珪石粉末およびフライアッシュを置換した 5 水準の SiO₂/CaO におけるモルタルのフレッシュ性状と強度発現性

2.1 使用材料および配合

使用材料を表 1 に示す。配合条件は水粉体質量比(以下 W/P)=20%とした。また、0 打モルタルフロー値が珪石粉末、フライアッシュの配合をそれぞれ 150±25mm、210±25mm となるように減水剤を添加

した。消泡剤は粉体の質量比 1%で一定添加した。

表 1 使用材料

材料	記号	材料名	密度(g/cm3)
水	W	上水道水	1.00
結合材	OPC	普通ポルトランドセメント	3.16
シリカ調整材	SiP	珪石粉末	2.66
	FA	フライアッシュ	2.24
細骨材	S	東京都青梅市成木産砕砂 F.M 2.97	表乾密度2.63
減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物を主成分とする高性能減水剤	1.10
消泡剤	DF	ポリアルキレン誘導体を主成分とする消泡剤	1.00
繊維	Cu	銅繊維	8.90

2.2 試験方法

練混ぜには公称容量 10L のモルタルミキサーを使用した。練混ぜ手順は各種粉体および細骨材を投入した後、空練りを 30 秒間行い、あらかじめ SP を混和した練混ぜ水を投入し 4 分間練り混ぜ、さらに DF を投入後 1 分間練り混ぜ、最後に繊維を入れて 2 分間練混ぜ排出し各種試験を行った。

(1) 0 打モルタルフロー値試験

「JIS R 5201 セメントの物理試験方法」に準じた。

(2) 空気量試験

モルタルの空気量測定は、JIS A 1116「フレッシュコンクリートの空気量の質量による試験方法(質量法)」を参考に、内径 50mm、高さ 100mm の樹脂製の円柱供試体用軽量型枠容器を用い簡易的に測定した。

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JSCE-G 505「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。測定はオートクレーブ養生後に行った。

(4) 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準拠した。測定はオートクレーブ養生後に行った。

2.3 試験結果および考察

各種配合のフレッシュ性状の試験結果を表 2、珪石粉末、フライアッシュ 2 種の圧縮強度試験結果を図 1、曲げ強度試験の結果を図 2 に示す。なお、図 1 の

記号 A～E は珪石粉末、F～J はフライアッシュを置換した配合であり、試験練りの結果、フライアッシュ置換では可使時間が短いためSP添加量を粉体質量比1.3%で一定とした。また、最も曲げ強度の高かった珪石粉末置換($\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.20$)とフライアッシュ置換($\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.05$)に銅繊維を入れ、オートクレーブ養生した供試体の圧縮強度、曲げ強度をそれぞれ図3、図4に示す。

図1の珪石粉末置換の配合では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.00$ のとき最も大きい値であるが、その他の SiO_2/CaO と大きな差はなく、珪石粉末置換量で SiO_2/CaO を調整した場合の圧縮強度と、 SiO_2/CaO の比との関係性は明確でない。フライアッシュ置換量で SiO_2/CaO を調整した場合の圧縮強度においては、 $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.05$ のときが最も大きな値となり、 $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.10$ より大きくなると圧縮強度は小さくなる傾向を示した。

図2の珪石粉末置換の配合では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.20$ のとき最も大きい曲げ強度となった。フライアッシュ置換の配合では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.05$ のときに曲げ強度が最も大きく、その前後の比で減少する傾向がみられる。近年の研究ではオートクレーブ養生硬化体内に、ごく少量の結晶性トベルモライトと、低結晶性トベルモライトと非結晶のトベルモライトが共存していると圧縮強度が大きくなるといわれている³⁾。このことから、曲げ部材として使用することを前提としたとき、珪石粉末置換では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.20$ で曲げ強度は最大値を示したため、1.20より大きくなると結晶性トベルモライトが増加し、曲げ強度が最大になるのではないかと考えられる。また、フライアッシュ置換では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.05$ 前後で最も結晶性、低結晶性、非結晶性のトベルモライトが適切な割合で共存していると考えられる。

図4の珪石粉末置換の配合では、銅繊維無混和より銅繊維混和配合のほうが曲げ強度が大きくなる配合はなかった。フライアッシュ置換の配合では、繊維長が50*2.5、100*5.0のときに繊維無混和配合より大きな曲げ強度を示した。

表2 フレッシュ性状

記号	結合材	SiO ₂ /CaO	0打フロー値(mm)	空気量(%)	SP(P×%)
A	珪石粉末	1.00	102	2.0	1.8
B		1.05	134	0.8	1.7
C		1.10	152	2.0	1.5
D		1.15	161	1.5	1.9
E		1.20	166	0.1	1.7
F	フライアッシュ	1.00	205	0.4	1.3
G		1.05	228	0.9	1.3
H		1.10	205	0.2	1.3
I		1.15	188	1.0	1.3
J		1.20	225	0.2	1.3

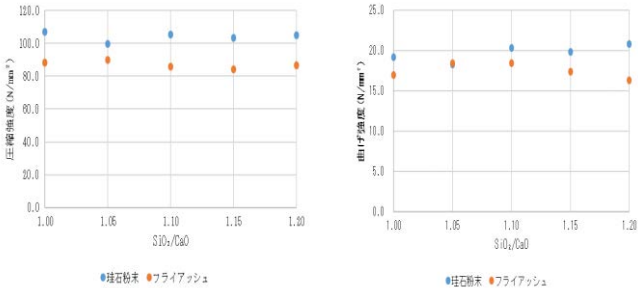


図1 圧縮強度

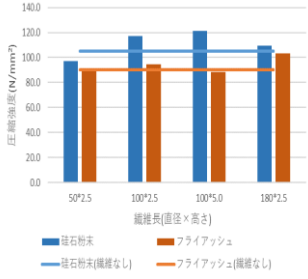


図3 圧縮強度
(繊維あり)

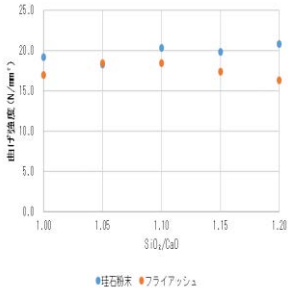


図2 曲げ強度

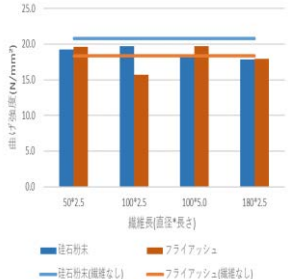


図4 曲げ強度
(繊維あり)

3. まとめ

本研究は曲げ強度の発現性を主に検討し実験した。結果のまとめを以下に表す。

- 1) 珪石粉末置換では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.20$ のとき最も大きい曲げ強度となったため、 $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.20$ より大きくなると最も曲げ強度が大きくなると考えられる。
- 2) フライアッシュ置換では $\text{SiO}_2/\text{CaO}=1.05\sim1.10$ のときに曲げ強度が最も大きく、その前後の比で減少する傾向がある。
- 3) 銅繊維を混和したとき、オートクレーブ養生した珪石粉末置換配合では曲げ強度は増加しない。一方、一部のフライアッシュ置換配合では増加した。

【参考文献】

- 1) 恒松修二・井上耕三・恒松絹江:ケイ酸カルシウム水和物の耐酸性に及ぼす原料の CaO/SiO_2 モル比及び加熱処理温度の影響、Journal of the Society of Inorganic Materials, pp152-158、2007
- 2) 西晴哉:オートクレーブ養生とコンクリート、コンクリート工学年次論文集、Vol.18、May pp5-18、1980
- 3) 内田裕市、超高強度繊維コンクリート (UFC/UHPFRC)、コンクリート工学、pp514-518
- 4) 石中正人、中山英明:シリカフェーム混合セメントにおける加熱養生時の強度発現性に及ぼす最高温度の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.2、pp.91-97、2008

