

報 告

[1131] 高性能収縮低減材を用いたCFRCの耐久性

正会員○依田和久（鹿島建設技術研究所）

正会員 末永龍夫（鹿島建設技術研究所）

宇田川秀行（電気化学工業）

森本丈太郎（電気化学工業）

1. はじめに

高性能収縮低減材を用いたCFRC（以降CFRC-Dという）は、蒸気養生を不要とし、優れた寸法安定性を特徴とするものである。前報ではCFRC-Dの基礎物性実験を行い、その結果、長さ変化率が 1×10^{-4} （材令56日）で従来のCFRC（以降CFRC-Aという）に比べ1/7～1/4であり、他のフレッシュ時および硬化時の物性は同等であることを報告した〔1、2〕。

本報では、CFRC-Dの材令6ヶ月までの長さ変化率および耐久性のうち凍結融解抵抗性、中性化深さを主に報告する。

2. 実験計画

2. 1 使用材料

実験に使用した材料を表1に示す。

2. 2 要因と水準

実験の要因は調合とした。水準は、CFRC-Dが3調合、比較用としてCFRC-Aが2調合の計5調合とした。

3. 試験体

3. 1 調合

調合を表2に示す。なお、高性能収縮低減材は2種類とし、D2、D3調合が従来品、D4調合が従来品に比べ、セメント中のカルシウムシリケートとの水和活性を高めるように鉱物組成を改良したものをそれぞれ用いた。

3. 2 混練方法

混練はオムニミキサーで5分練り混ぜた。

3. 3 成形および養生

20°C、60%RHの試験室にて規定のモールドに成形後、CFRC-Dは20°C、60%RHの条件室に、CFRC-Aは蒸気養生並びにオートクレーブ養生後同条件室にそれぞれ試験材令まで存置した。

表1 使用材料

材料	種類
セメント	普通ポルトランドセメント 早強ポルトランドセメント
骨材	シラスバルーン 粉末硅石
混和材	高性能収縮低減材（従来品） 高性能収縮低減材（改良品）
混和剤	メチルセルロース
	消泡剤
	凝結調節剤
纖維	汎用ピッチ系炭素繊維（ $\phi = 18 \mu\text{m}$, $l_f = 3\text{mm}$ ）

表2 調合

記号	W/C+A(%)	S/C+A(%)	Vf (%)	重量調合 (kg/m ³) *				
				W	C	A	Ss	Sk
D 2	44.0	10.0	2.0	480	873	218	109	-
D 3	55.0	16.1	2.0	498	736	169	146	-
D 4	44.0	10.0	2.0	480	916	175	109	-
A 1	81.2	83.7	2.0	528	650	-	-	545
A 2	73.7	42.7	2.0	528	716	-	99	207

*各混和剤は調合ごとに適量混入した。

材料の略号は、Wが水、Cがセメント、Aが混和材、

Ssがシラスバルーン、Skが粉末硅石とする。

凍結融解試験時のみ調合にAE剤を適量混入した。

4. 実験方法

実験項目および実験方法を表3に示す。

表3 実験項目および実験方法

実験項目	実験方法	試験体形状	備考
圧縮強度	JIS A 1108	$\phi 50 \times 100$ (mm)	材令1、7、28、91日について、インストロン試験機を用いて、クロスヘッドスピード0.5mm/分で載荷し試験した。
曲げ強度	JIS A 1106	$40 \times 40 \times 100$ (mm)	材令7、28、91日について、2tonオートグラフ試験機を用いて、クロスヘッドスピード0.5mm/分で載荷し試験した。
長さ変化	JIS A 1129	$40 \times 40 \times 100$ (mm)	脱型時に基長を測定し、その後適宜測定した。
凍結融解試験	ASTM-666	$100 \times 100 \times 400$ (mm)	水中凍結試験法(準拠)各養生後の試験体を材令14日まで $20^{\circ}\text{C} \cdot 60\%$ RHの条件室に存置した。ただし、D4調合はその後2日間標準養生を行い試験材令を16日とした。
中性化深さ	-	$\phi 100 \times 200$ (mm)	切断面に1%フェノールタレンエチルアルコール溶液を塗布して未変色部分を中性化部分とし、ノギスにて中性化深さを測定した。

5. 結果および考察

5. 1 圧縮強度

図1に各材令ごとの圧縮強度を示す。

材令91日の各CFRCの圧縮強度は、材令28日に対する圧縮強度比で103~111%の範囲にあり、材令28日に比べ若干増加している。圧縮強度は、水セメント比(W/C比)、構成材料、養生条件により異なり一概に比較できないが、材令91日では小さい順にA2、D3、D2、D4、A1で250~450kgf/cm²の範囲にある。なお、今回新たに加えたD4は、他のCFRC-Dに比べ、脱型時(材令1日)までの強度発現が比較的緩やかであり、28日までの強度の増進が大きい。

5. 2 曲げ強度

図2に各材令ごとの曲げ強度を示す。

CFRC-Dの曲げ強度はCFRC-Aのものに比べ大きく、材令91日ではそれぞれ150kgf/cm²、100kgf/cm²である。これは、CFRCの養生方法の違いによる繊維とマトリックスとの付着強度の差と考えられる[3]。

5. 3 長さ変化率

図3に各CFRCの長さ変化率を示す。

CFRC-Dは、CFRC-Aに比べ、初期から同等以上の低収縮性を示し、材令6ヶ月で $1 \sim 4 \times 10^{-4}$ である。また、D4は、他のCFRC-Dと異なり、初期の膨張がみら

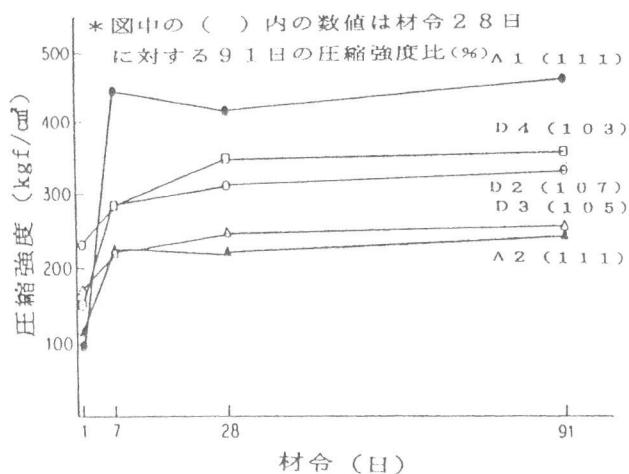


図1 材令と圧縮強度

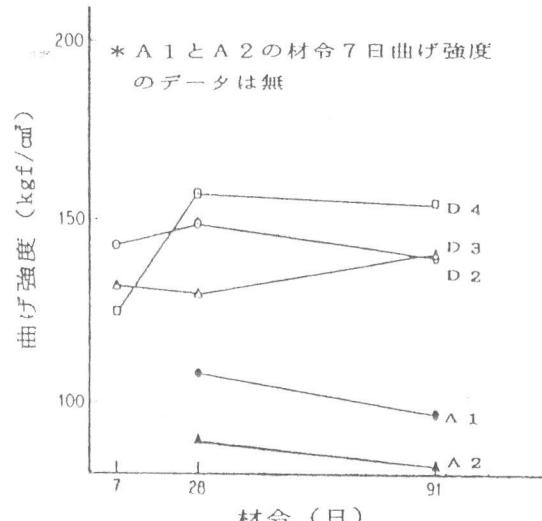


図2 材令と曲げ強度

れない。これらは、D 4 の強度発現が比較的長期に渡るためと考えられる。

5.4 凍結融解抵抗性

本試験では全てAE剤を適量混入したもの用いた。

(1) 重量変化率

図4に凍結融解試験時の各CFRCの重量変化率を示す。

試験開始時の試験体の含水状態が異なるため一概に比較できないが(表3参照)、48時間水中養生後試験を開始したD 4(他は気乾状態で開始)は200サイクルまで重量変化がみられない[4]。また、D 2、D 3はサイクル数増加に従いスケーリングがみられ、徐々に重量が減少した。CFRC-Aのうち、A 1、A 1'は、D 4と同様な傾向を示した。なお、A 1'はA 1のW/Cを81%から67%に変更し消泡剤無混入としたものである[5]。

(2) 相対動弾性係数

図5に凍結融解試験時の各CFRCの相対動弾性係数を示す。

200サイクル(一部210サイクル)までの相対動弾性係数をみると、CFRC-Dのうち、D 4は100%を維持している。D 2、D 3は徐々に低下し、200サイクルでは、それぞれおよそ75、60%である。これに対しCFRC-Aのうち、A 1、A 1'とともに100サイクルで相対動弾性係数が急激に低下し、200サイクルでは、それぞれおよそ60、20%である。つまり、本実験で用いたCFRCのうち、D 4は優れた耐凍害性を有することがわかった。これはD 4の細孔径分布が他のCFRCと異なり凍害を受けない範囲にあるためと考えらる[6]。現在、細孔径分布および総細孔量を測定中である。

なお、CFRCの耐凍害性を評価する場合、主に外壁カーテンウォールなどの非構造部材として用いられている現状を踏まえ、水中凍結融解法が適切かどうか検討の余地がある。

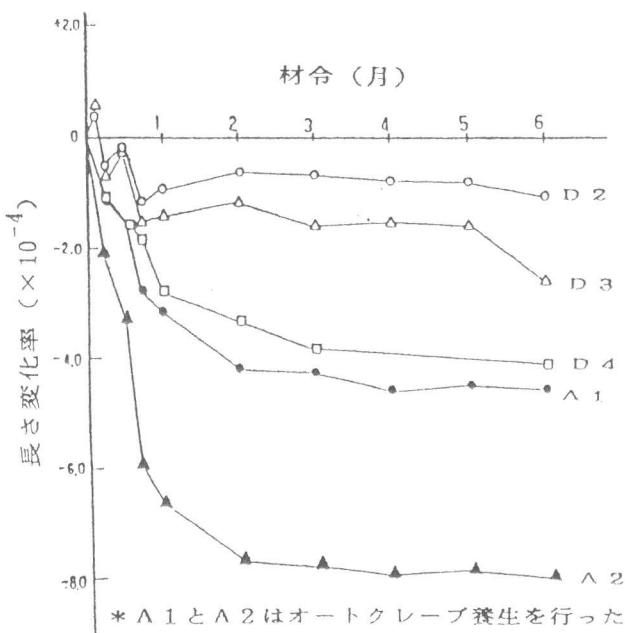


図3 長さ変化率

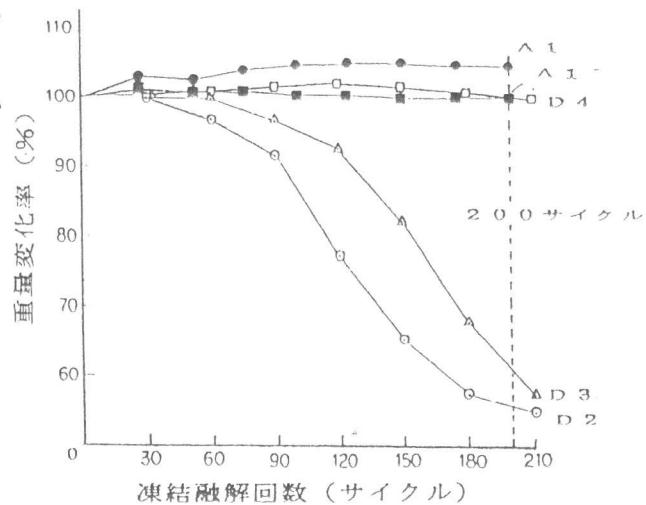


図4 重量変化率

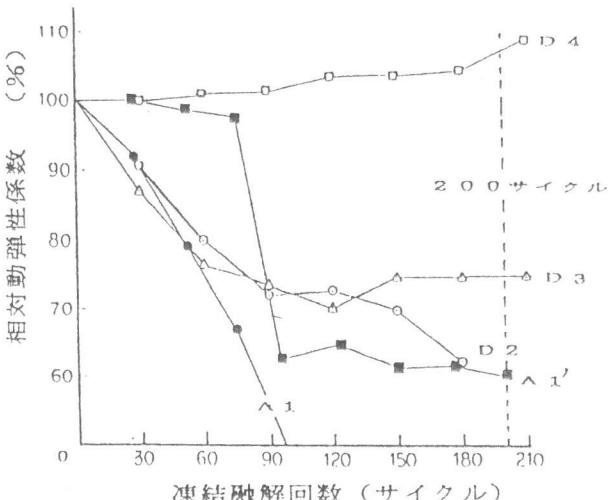


図5 相対動弾性係数

5. 5 中性化深さ

図6に屋内(20°C・60%RH)・屋外(暴露)で養生したときの中性化深さを示す。

C F R C - D の中性化深さは、C F R C - A に比べやや大きい。これは養生方法の違いによると考えられる。つまり、C F R C - D は促進養生していないのに対し、C F R C - A は蒸気養生とオートクレーブ養生を行ったため組織が緻密かつ水和生成物が安定したためと考えられる。また、C F R C - D のうち D 4 が D 2 に比べて小さいのは、D 4 が長期に渡り水和反応を起こし組織が緻密になるのに対し、D 2 は水和反応の大部分が初期に終了し緻密の程度が D 4 に比べ小さいためと考えられる。

6.まとめ

本実験の結果、C F R C - D について以下のことがわかった。

- (1)材令91日での圧縮強度は、材令28日のものに比べやや増進し、260~362kgf/cm²の範囲にあった。また、水和活性を高めるように改良した新しいタイプの高性能収縮低減材によるD 4 は、他のC F R C に比べ、脱型時(材令1日)までの強度発現が比較的緩やかであり、その後28日までの強度の増進が大きい。
- (2)材令91日での曲げ強度は、材令28日のものと同等で、約150kgf/cm²であった。
- (3)長さ変化率は初期から低収縮性を示し、材令6ヶ月で $1 \sim 4 \times 10^{-4}$ であった。
- (4)凍結融解抵抗性はD 4 調合が優れており、200サイクルで相対動弾性係数が100%であった。
- (5)中性化深さは、オートクレーブ養生などの促進養生をしていないため、若干大きかった。

参考文献

- [1] 依田和久、末永龍夫、宇田川秀行、森本丈太郎：高性能収縮低減材を用いたC F R C の基礎物性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 12、No. 1、pp. 1053-1056、1990. 6
- [2] 依田和久、末永龍夫、武井吉一、宇田川秀行：高性能収縮低減材を用いたC F R C の実験的研究(その1)、日本建築学会学術講演梗概集(中国), A, pp. 889-890, 1990. 10
- [3] 後藤幸正、尾坂芳夫監訳：ネビルのコンクリートの特性、p. 251、技報堂出版、1982
- [4] (社)セメント協会コンクリート専門委員会：初期の乾燥がコンクリートの諸性質に及ぼす影響、セメント・コンクリート、No. 466, pp. 20-30, Dec. 1985
- [5] 西田和宏、鎌田英治、末永龍夫、多加谷潔：C F R C (炭素繊維補強コンクリート) の耐凍害性に関する実験、日本建築学会学術講演梗概集(九州), A, pp. 743-744, 1989. 10
- [6] 鎌田英治：コンクリートの凍害と細孔構造：コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 10、No. 1、pp. 51-60、1988. 6

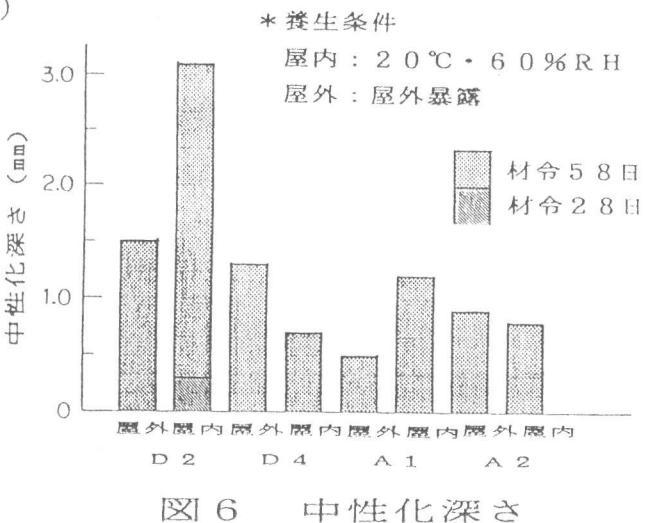


図6 中性化深さ