

コンクリートのひび割れ自己治癒材料の造粒技術に関する基礎研究

住友大阪セメント(株) ○正会員 小出貴夫 (元) 東京大学大学院 学生会員 森田 卓  
 東京大学生産技術研究所 正会員 安 台浩 東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. はじめに

コンクリートのひび割れからの漏水防止を目的とした自己治癒材料(以下, SH 材料) に関しては, これまでに膨張材, 炭酸塩, ジオマテリアル(粘土鉱物等) を含む材料を用いた報告がなされている<sup>1)2)</sup>。これらのひび割れ自己治癒機構は, SH 材料と水との反応による膨張・膨潤作用・ポズラン反応, 炭酸化反応等の複合作用と考えられている<sup>2)</sup>。ジオマテリアル(粘土鉱物等) を含む SH 材料は, 水との反応性・吸水性が高い微粉末材料であるため, コンクリートのフレッシュ性状が著しく低下するという課題があった<sup>2)</sup>。本研究では, SH 材料をコンクリートに混和した際のフレッシュ性状の低下防止と長期材齢を経たコンクリートに自己治癒能力を担保させることを目的として, SH 材料にバインダ材料を加えて造粒し, 得られた造粒物を細骨材置換で繊維補強コンクリート(以下, FRC) に混和し, FRC の物性やひび割れ自己治癒能力について基礎的な検討を行った。

2. 造粒物の作製

SH 材料の粉体表面に熱可塑性・撥水性・遮水性等の機能を有するコーティング膜を形成させるマイクロカプセル化・流動層式造粒技術・噴霧乾燥式造粒技術等を適用することは技術的に可能であるが, これらの装置は高価かつ処理能力が低いため, コンクリート用の SH 材料の改質技術としては不向きであると考えられた。そこで本研究では, 装置が単純かつ低コストで処理可能な転動式造粒技術を用いて, 粘土鉱物等を含む SH 材料(粉末) にバインダ材料を加えて造粒することによって, SH 材料の粒径と嵩密度を増大させ, FRC に混和した際のフレッシュ性状の低下を防ぐことを目的とした。また, SH 材料を細骨材置換で 40kg/m<sup>3</sup> ずつ FRC に混和し, FRC の物性やひび割れ自己治癒能力について基礎的な検討を行った。

SH 材料の造粒物は, 表-1 の配合で写真-1 に示す傾胴式ミキサを用いて作製し, 20℃で 7 日間密封養生した。写真-2 および表-2 に SH 材料の粉体と造粒物を示す。SH 材料の粉体は, 粒径が約 1~600μm, 嵩密度は約 0.7g/cm<sup>3</sup> である。一方, SH 材料造粒物は, 粒径が 0.6~5mm, 嵩密度は, 約 1.0g/cm<sup>3</sup> であり, 造粒によって SH 材料の粒径と嵩密度を増

大させることが可能であることを確認した。

3. 実験概要

表-3 に FRC の配合を示す。ベースコンクリートの練混ぜは, 実機プラントで行い, 荷卸直前にφ0.66mm×長さ 30mm のビニロン繊維をアジテータ車に手投入して FRC とした。造粒物の有無によるフレッシュ性状の改善効果は, 運搬前後にスランプ試験を行って確認した。ひび割れの自己治癒性能評価用に写真-3, 4 に示す桁形試験体(外部寸法 0.9m×0.75m×h1.0m, 溜水部内寸法 0.5m×0.5m×h0.8m, 桁壁厚 0.1~0.2m, 有筋) を各 1 体作製した。桁は材齢 7 日で脱型し, 上部に蓋をして雨水が溜まらないように屋外空中養生した。通水試験は, 材齢 86 日で油圧ジャッキを用いて桁の内部から荷重をかけて桁壁 2 面にひび割れを導入し, ひび割れ間隔の保持を目的として部分的にφ0.2mm の針金を挿入した。ひび割れの幅は, マイクロスコップを用いて桁の南北に面した外壁 2 面に関して, 外側上端面から 100mm 間隔で測定した。この後, 材齢 91 日から上水道水を溜らし, 満水となった直後の水面低下深さを 10 分間隔で 90 分後まで測定し, 漏水量の経時変化から止水効果を比較検討した。

表-1 造粒物の材料構成 (%)

SH材料 (粉体)	造粒用バインダ		
	低熱セメント	シリカフェーム	水
49.4	31.8	1.1	17.7

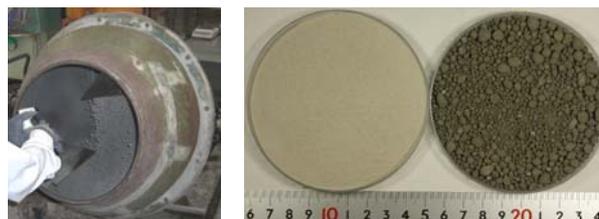


写真-1 傾胴式ミキサによる造粒 写真-2 SH材料の粉体・造粒物

表-2 SH材料(粉体・造粒物)の物性

SH材料種類	粒径	FM (粗粒率)	嵩密度 (g/cm <sup>3</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	圧壊荷重 (N)
粉体	約1~600μm	—	約0.7	2.64	—
造粒物	約0.6~5mm	3.97	約1.0	2.41	34

表-3 コンクリート(FRC)配合

コンクリート SH材料種類	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					ビニロン繊維 外割(kg/m <sup>3</sup> )
				W	C	SH	S	G	
FRC-Plain						—	934		
FRC-SH粉体	56.5	52.3	4.5	175	310	40	894	869	6.5
FRC-SH造粒						40	894		

連絡先 〒274-8601 千葉県船橋市豊富町 585 住友大阪セメント(株)セメントコンクリート研究所 TEL 047-457-7871

4. 結果および考察

表-4 に FRC のフレッシュ性状と圧縮強度を示す。今回、打設時の気温が 32℃であり、また荷卸直前にビニロン繊維を加えて FRC としたため、スランプロス対策としてベースコンクリートの高性能 AE 減水剤添加量 (以下、SP 量) は、やや過剰とした。荷卸時のスランブは、FRC-Plain が SP 量=C×1.3%で 20.5cm とほぼ目標値であった。一方、FRC-SH 粉体が SP 量=C×2.75%で 17.5cm であり、FRC-SH 造粒は、SP 量=C×2.5%で 23.5cm であった。SH 材料を造粒物として混和することによって、粉体状態で混和した場合より少ない SP 量で大きなスランブが得られていることから、造粒によりフレッシュ性状が改善されたと考えられる。空気量は、いずれもほぼ目標値の範囲内であった。圧縮強度は、いずれも材齢に伴って高くなっているが、SH 材料を混和した FRC は、FRC-Plain より大幅に高くなった。FRC-Plain より強度が高くなった原因は、SH 材料をセメント置換ではなく、細骨材置換で混和したためと考えられる。特に FRC-SH 造粒の場合、造粒用のバインダ材料が未水和のまま残存し、強度増進に寄与した可能性が考えられる。

表-5 に桁形試験体に導入したひび割れ幅の測定結果を示す。ひび割れの幅は、いずれの FRC も上端部に近いほど大きく、桁底面に近くなるほど小さくなった。また、FRC-Plain と FRC-SH 粉体の桁試験体の平均値は約 0.2mm であったが、FRC-SH 造粒の桁試験体の平均値は 0.4~0.5mm と大きかった。これは、桁側面の中央付近にひび割れ幅制御目的で横方向に設置した埋込み鉄筋の長さが短かったため、鉄筋の定着長が足りずに付着切れが生じ、ひび割れ幅の制御が不可能になったことによる。

図-1, 2 に桁形試験体の通水試験結果を示す。FRC-SH 粉体の桁は、溜水 3 日目で水面低下深さが大幅に減少し、10 日目でほぼ止水された。一方、FRC-Plain の桁は、溜水 10 日目で水面低下深さが減少したが、21 日目の時点で完全には止水されなかった。FRC-SH 造粒の桁は、ひび割れ幅が大きく漏水が激しかった。そのため、溜水 63 日目 (材齢 154 日) にチェーンブロックを用いて桁外周を拘束し、ひび割れ幅が小さくなるように修正を行った。その結果、70 日目 (ひび割れ幅修正後 7 日目) の水面低下深さは 63 日目より大幅に減少した。ひび割れの幅を小さくすることによって、漏水が減少し、SH 材料造粒物から供給される自己治癒成分の流出が抑えられ、ひび割れが治癒したものと考えられる。

以上の結果より、SH 材料を造粒物に加工してコンクリートに混和することで、SH 材料を粉体状態で混和した場合よりフレッシュ性状を改善し、また長期材齢を経たコンクリートにひび割れ治癒性能を担保できることを確認した。



写真-3 桁形試験体の打設風景 写真-4 桁形試験体(FRC-SH 造粒)

表-4 コンクリートのフレッシュ性状・圧縮強度

コンクリート SH材料種類	SP (C×%)	スランブ(cm)		Air(%)		温度(°C)		圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )		
		出荷	荷卸	出荷	荷卸	出荷	荷卸	7日	28日	91日
FRC-Plain	1.30	24.5	20.5	3.7	5.3	30	32	20.0	25.2	47.6
FRC-SH粉体	2.75	20.5	17.5	4.2	6.2	31	32	20.6	27.3	58.1
FRC-SH造粒	2.50	23.0	23.5	2.0	4.5	30	34	25.3	32.1	61.8

表-5 桁形試験体に導入したひび割れ幅の測定結果(通水前)

桁上端部からの距離 (mm)	ブレン(mm)		SH粉体(mm)		SH造粒(mm)	
	北面	南面	北面	南面	北面	南面
100	0.43	0.36	0.30	0.33	0.59	0.65
200	0.39	0.24	0.26	0.27	0.68	0.71
300	0.23	0.36	0.47	0.40	0.71	0.62
400	0.29	0.40	0.16	0.26	0.65	0.44
500	0.12	0.21	0.21	0.18	0.58	0.30
600	0.08	0.12	0.13	0.12	0.26	0.25
700	0.11	0.10	0.08	0.10	0.30	0.14
800	0.07	0.07	0.05	0.04	0.20	0.14
平均	0.22	0.23	0.21	0.21	0.50	0.41

※桁壁のコンクリート厚さ:北面=150mm,南面=100mm

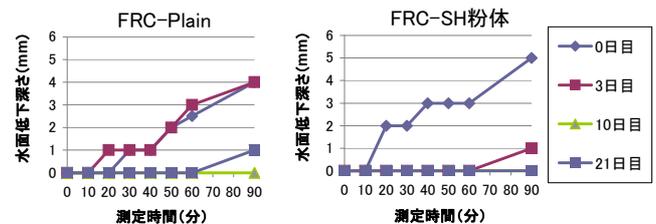


図-1 桁形試験体の通水試験結果(左:FRC-Plain, 右:FRC-SH 粉体)

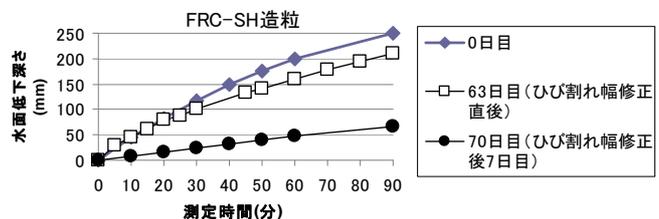


図-2 桁形試験体の通水試験結果(FRC-SH 造粒, 63 日目にひび割れ幅修正)

まとめ

- (1) 粘土鉱物を含む自己治癒材料にバインダ材料を加えて転動式造粒を行うことによって、粒度と嵩密度を増大させた造粒物が得られた。この造粒物を細骨材置換で混和することで、粉体で混和した場合より、コンクリートのフレッシュ性状が改善され、ひび割れ治癒効果が得られることを確認した。
- (2) 自己治癒材料を造粒物とすることで、ひび割れ自己治癒コンクリートの性能を向上させる可能性が示唆された。

参考文献

- 1)山田啓介ほか:膨張材を用いたコンクリートのひび割れ自己治癒性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.261-266, 2007.7
- 2)Tae-Ho AHN et.al: Crack Self-Healing Behavior of Cementitious Composites Incorporating Various Mineral Admixtures, ACT, Vol. 8, No. 2, pp171-186, 2010.6