

造粒によるひび割れ自己治癒性能を有する無機系材料の性能向上に関する基礎研究

(元) 東京大学大学院 正会員 ○森田 卓 住友大阪セメント(株) 正会員 小出貴夫
 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

近年、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の劣化が顕在化している。特にひび割れの発生は、様々な劣化原因となるため、その抑制に対する社会的ニーズは極めて大きい。そのため、維持管理費用を大幅に削減可能なひび割れ自己治癒コンクリートの実用化には、大きな関心が寄せられている。著者らはこれまでに、無機系膨潤材料を含むひび割れ自己治癒材料（以下、自己治癒材料）を用いて、漏水防止を目的としたひび割れ自己治癒コンクリートを提案してきた¹⁾。それにより、止水性能は向上している²⁾が、水との反応性が高い粉末状の材料を使用しているため、コンクリートに混和した時のフレッシュ性状の大幅な低下が課題となっていた¹⁾。また、長期材齢を経たコンクリートのひび割れを治癒させるためには、自己治癒成分を長期間温存する手法が必要であると考えられる。そこで本研究では、上記課題の解決を目的として、自己治癒材料（微粉末）を造粒し、造粒物をコンクリートの細骨材の一部と置換して混和することで、その効果の基礎的な検討を行った。

2. 造粒物の作製

自己治癒材料微粉末を粗大な造粒物へ加工することで、水との反応性を低下させ、さらに自己治癒成分を長期間温存できる可能性がある。また、造粒物はひび割れ発生時に割れ、漏水による水分供給により自己治癒成分が溶出してひび割れを修復させると考えられる。造粒物は、写真-1 に示す攪拌造粒機を用いて、表-1 の配合で2種類（膨張材の有、無）を作製し、20℃で7日間密封養生した。養生後の造粒物は、脂肪酸飽和エタノール溶液を含浸させた後、自然乾燥してエタノールを除去し、遮水処理を施した。写真-2 に自己治癒材料の粉体および造粒物を示す。造粒物は、いずれも JIS A 5308 の細骨材の標準粒度の範囲内であり、細骨材と同様の粒度分布および密度を有することを確認した。

3. 実験概要

コンクリートの練混ぜは、実機プラントで行った。表-2 にコンクリート配合を示す。自己治癒材料は、粉体および造粒物のいずれも細骨材置換で 40kg/m^3 ずつ混和した。造粒物の使用によるフレッシュ性状の改善効果は、運搬前後に

スランブ試験を行って確認した。ひび割れの自己治癒性能評価は、 $\phi 100\text{mm} \times h200\text{mm}$ の円柱供試体を通水試験用に各配合3体ずつ作製し、止水効果を確認した。供試体は、24時間後に脱型し、20℃屋内で約8ヶ月間気中養生後、JIS A 1113 に準じて圧縮試験機を用いて割裂した。割裂した供試体断面は、高压空気で微粒分を除去し、自己治癒に有利な目詰まり効果の発生を低減させた。ひび割れ幅は、鋼製ホースバンドで拘束して0.2~0.3mmに調整し、マイクロスコープで供試体上下面の計6点を測定した。また $\phi 100\text{mm} \times h100\text{mm}$ の塩ビ管を供試体上面に水頭が約80mmとなるように取り付け、供試体との接続部および供試体側面のひび割れをシリコン樹脂で止水した。

通水試験は、塩ビ管を常に満水にした定水位連続通水状態とした。通水開始から、0、1、3、7、14、21、28日目に供試体下面（底面）のひび割れから流出する漏水量を5分間計測し、自己治癒材料の止水効果を確認した。また、pH試験紙を用いて漏水のpH変化を測定した。さらに通水試験前後には、マイクロスコープでひび割れ部および供試体断面の析出物の有無を確認し、自己治癒材料の造粒物と粉体との効果を比較検討した。



写真-1 使用した攪拌造粒機(左:装置全体, 右:内部)

表-1 造粒物の材料構成(%)

	自己治癒材料	造粒用バインダ	
		低熱セメント	水+エタノール
膨張材 有	42	42	16
膨張材 無	33	49	18

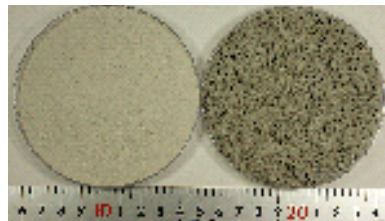


写真-2 自己治癒材料(膨張材有)の粉体(左)と造粒物(右)

キーワード ひび割れ, 自己治癒, 造粒, フレッシュ性状, 止水効果

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6098 FAX 03-5452-6395

4. 結果および考察

表-3 に運搬前後のフレッシュ性状を示す。自己治癒材料を粉体のまま混和したもの（SHC-粉体）に比べて、粉体のまま混和したもの（SHC-造粒）はいずれもスランプが大きく、スランプロスが小さかった。これは、造粒によって自己治癒材料と水との接触機会が抑制されたためと考えられる。また、自己治癒材料を粉体のまま混和した場合は、練上り直後の空気量が過大であったが、造粒物を混和した場合は、空気量は適正な範囲内であった。

図-1 に通水試験による漏水量および pH の変化量（いずれも供試体 3 本の平均値）を示す。漏水量は、普通コンクリート（Plain）に比べて、自己治癒材料を用いた SHC の方が、造粒の有無、膨張材の有無によらず初期値が抑えられた。これは、自己治癒材料に含まれる膨潤材料が膨張したことによって、初期から止水効果が得られたためと考えられる。また、その後の経時変化を見ると、Plain は吸水などの作用で通水 1 日目に漏水量が半分程度に低下したが、その後は大きな変化が見られなかった。一方、SHC は、造粒の有無によらず、通水 1 日目で漏水量が大幅に低下した。また、漏水の pH は、Plain では通水直後の pH=約 12 から 1 日目で pH=約 8 へ大きく低下し、その後は pH=約 7 で推移した。一方、SHC は造粒の有無、膨張材の有無によらず、pH 変化は Plain に比べて緩やかであり、通水 1 日目で pH=約 11 であり、その後、通水 14 日目で pH=約 8 まで低下し、以後そのまま推移した。以上のことから、SHC では、初期にひび割れ内部の水の移動が膨潤材料の膨張によって抑制され、他の自己治癒成分、セメント水和物などが外部に流出せずに残存し、これらがひび割れを治癒したことで高い止水効果が発現したと考えられる。

写真-3、4 に通水前後におけるひび割れ部および供試体断面の観察結果を示す。写真-3 より、SHC-造粒の供試体において、通水後のひび割れ部に結晶状物質が顕著に析出していることが確認された。SHC-粉体でも同様に結晶状物質の析出が確認されたが、Plain では確認されなかった。また、写真-4 より、止水性の高い SHC では、割裂面に露出した粗骨材の表面を覆うように析出した結晶状物質が多く確認された。特に SHC-造粒の方が、SHC-粉体よりも、析出量が多い傾向が見られた。これより、自己治癒材料を造粒物とすることで、SHC において所要の止水性能を得るための自己治癒材料の混和量を粉体状態より低減できる可能性が示唆される。以上の結果より、自己治癒材料を造粒物に加工してコンクリート中に混和することで、自己治癒材料を粉体状態で混和する場合よりフレッシュ性状が改善し、ひび割れの治癒性能も向上可能であることを確認できた。

表-2 コンクリート配合

コンクリート種類 自己治癒材料	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	配合 (kg/m ³)					SP (C×%)	W/P (%)
				W	C	SH	S	G		
Plain						0	826		0.8	57.9
SHC-膨張材有・粉体	57.9	45.2	4.5	168	290	40	786		3.0	50.9
SHC-膨張材有・造粒						40	786	1019	3.0	50.9
SHC-膨張材無・造粒						40	786		3.0	50.9

表-3 フレッシュ性状試験結果

コンクリート種類 自己治癒材料	SP (C×%)	スランプ (cm)		空気量 (%)		温度 (°C)	
		出荷	荷卸	出荷	荷卸	出荷	荷卸
Plain	0.8	14.0	12.0	5.0	3.5	14	15
SHC-膨張材有・粉体	3.0	16.5	14.5	10.2	5.2	14	15
SHC-膨張材有・造粒	3.0	23.5	23.5(SF40)	3.8	3.4	14	15
SHC-膨張材無・造粒	3.0	19.0	19.0	2.0	3.4	14	15

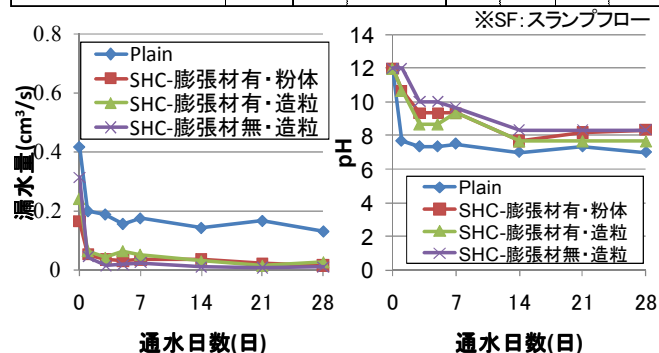


図-1 屋内通水試験結果(左:漏水量の変化, 右:漏水の pH 変化)

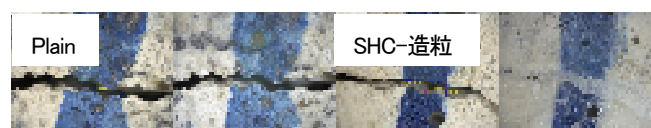


写真-3 通水試験前後のひび割れ部(左:通水前, 右:通水後)

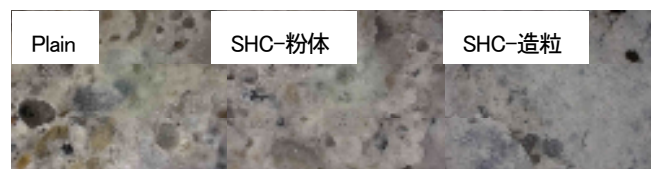


写真-4 通水試験前後の供試体断面(供試体中央部×100倍)

まとめ

無機系のひび割れ自己治癒材料を造粒物とすることで、粉体状態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、高いひび割れ治癒効果が得られることを確認した。このことより、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) 安台浩: ジオマテリアルを含有した自己治癒コンクリートの開発に関する研究, 東京大学博士学位論文, 2008.3
- 2) 小松怜史ほか: ひび割れで通水する自己治癒コンクリートの治癒性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.117-122, 2008.7