

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成24年6月6日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2011

課題番号：23656277

研究課題名（和文）造粒技術の導入によるひび割れ自己治癒組成物の簡易カプセル化と漏水抑制効果の増強

研究課題名（英文）Semi-capsulation of crack self-healing agents for concrete by introducing granulation technique and strengthening the anti-leakage effect

研究代表者

岸 利治 (KISHI TOSHIHARU)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90251339

研究成果の概要（和文）：コンクリートに生じたひび割れをコンクリートが自律的に修復するひび割れ自己治癒コンクリートにおける自己治癒組成物の効果を長期に温存するための造粒技術の開発を行った。その結果、自己治癒組成物にバインダ材料を加えて造粒することにより、コンクリート製造時における自己治癒組成物と練混ぜ水の接触機会を抑制し、施工時のフレッシュ性状の低下を抑制しつつ、ひび割れ自己治癒効果を長期にわたって温存する技術を開発した。

研究成果の概要（英文）：A granulation technology of self-healing agent for crack self-healing concrete, which can repair cracks by itself was developed in order to retain the effect of self-healing agent in long time range. Self-healing agent is granulated by mixing with binder materials. This technology can restrain the contact possibility between self-healing agent and water during mixing and then the fresh property such as slump and flowability of concrete is not affected. Further, the crack self-healing capability can be maintained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート、ひび割れ、自己治癒、漏水、造粒

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らは、一般的な水セメント比配合において、水和反応がほぼ収束した長期材齢でも、ひび割れ発生後、早期にひび割れが自己治癒する膨張材－膨潤材－化学添加剤混合系の自己治癒材料を開発してきた。しかし、体積の約7割を骨材が占める通常のコンクリートでは、流速が一定程度以上早い場合に実用化に足るだけの十分な自己治癒性能を付与するまでには至っていなかった。水セメント比が高く有効成分を長期に亘り温存することが難しいことと、骨材ぎわを選択的に通るひび割れをペースト部分から湧出する有効成分で閉塞させるには一段と高い治癒力が求められたためである。また、膨張材－膨潤材－化学添加剤混合系の自己治癒材料では、止水性能は向上するが、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。そして、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た。

2. 研究の目的

自己治癒組成物を造粒化して、有効成分と水との接触機会を抑制することで、コンクリートの練混ぜから打込みに掛けての初期の自己治癒材料の吸水を抑制して、変形性・流動性の低下を防ぐと共に、ひび割れ自己治癒効果を長期に亘って温存することを目的とした。これにより、安価な準カプセル化技術を確立し、ある程度材齢が経過したコンクリートにおいても確実にひび割れ自己治癒性

能を発揮する技術の開発を目指した。

3. 研究の方法

(1) 造粒物の作製

自己治癒材料微粉末を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。



写真1 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

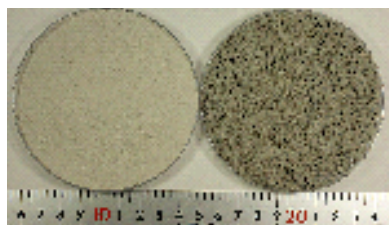


写真2 自己治癒材料(膨張材有)の粉体(左)と造粒物(右)

(2) コンクリートの製造および供試体の作製

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 $40\text{kg}/\text{m}^3$ 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、運搬前後にスランプ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、顕微鏡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。

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	1019	3.0	50.9
SHC-膨張材有・造粒						40	786		3.0	50.9
SHC-膨張材無・造粒						40	786		3.0	50.9

(3) 円柱供試体を用いた通水試験

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、顕微鏡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。

4. 研究成果

(1) フレッシュ性状の改善効果

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、造粒して混和したものの（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。

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

※SF:スランプフロー

(2) 通水試験による自己治癒効果の確認

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。

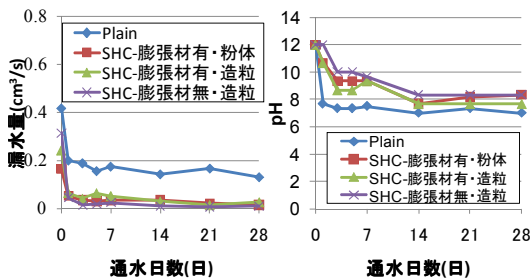


図 1 屋内通水試験結果

(左:漏水量の変化、右:漏水の pH 変化)

(3) ひび割れにおける自己治癒生成物の確認

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。

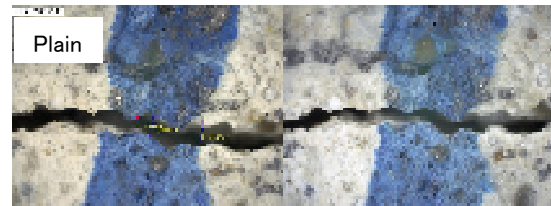


写真 3 通水試験前後のひび割れ部
(それぞれ、左:通水前、右:通水後)

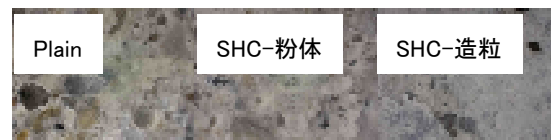


写真 4 通水試験前後の供試体断面
(供試体中央部×100倍)

(4) 造粒による簡易カプセル化の効果

無機系のひび割れ自己治癒材料を造粒物とすることで、粉体のまま混和した場合のよるコンクリートのフレッシュ性状の低下が改善され、ひび割れ自己治癒効果も高くなることを確認した。本研究により、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総合的に向上させる可能性が示唆された。

(5) 今後の展望

本研究により、セメント系材料の化学反応を有効に利用した化学的效果に、造粒による物理的な簡易カプセル効果を組み合わせた効果の高いひび割れ自己治癒技術の基礎が整った。また、対象となる構造物の要求性能、環境条件・使用条件および求められる費用対効果を考慮して、コンクリートに対して様々なレベルの自己治癒性能を付与できるテーラーメイド自己治癒コンクリートシステムの確立に繋げることが可能となった。今後は、更なるひび割れ自己治癒効果の強化と共に、実用的なコストアップの範囲内で、ひび割れ自己治癒効果を期待できる技術の開発を進めていく必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計6件)

- ① 小出貴夫、岸利治、安台浩、造粒したひび割れ自己治癒材料および高炉スラグ細骨材を用いた自己治癒コンクリートに関する基礎的研究、コンクリート工学年次大会 2012、JCI 年次論文集、査読有、Vol.34、No.1、2012年7月4-6日、広島国際会議場 [掲載決定]
- ② 小出貴夫、岸利治、安台浩、細骨材を核とした自己治癒材料造粒物を用いたモルタルに関する一検討、第66回セメント技術大会講演要旨、172-173、2012年5月30日、ホテルメトロポリタン池袋
- ③ 森田卓、小出貴夫、安台浩、岸利治、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、土木学会第66回全国大会、第V部門講演概要集、701-702、2011年9月9日、愛媛大学
- ④ 小出貴夫、森田卓、安台浩、岸利治、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、土木学会第66回全国大会、第V部門講演概要集、699-700、2011年9月9日、愛媛大学
- ⑤ 小出貴夫、岸利治、安台浩、森田卓、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的研究、コンクリート工学年次大会 2011、JCI 年次論文集、査読有、Vol.33、No.1、1451-1456、2011年7月12日、大阪国際会議場
- ⑥ 森田卓、小出貴夫、安台浩、岸利治、無機系ひび割れ自己治癒組成物を造粒混和したコンクリートの漏水抑制効果に関する基礎的研究、コンクリート工学年次大会 2011、JCI 年次論文集、査読有、Vol.33、No.1、1457-1462、2011年7月12日、大阪国際会議場

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

①

名称：セメント混和材およびセメント組成物
発明者：岸利治、他3名
権利者：東京大学、他1社
種類：特許
番号：特願 2011-247037
出願年月日：2011年11月11日
国内外の別：国内

②

名称：セメント混和材およびセメント組成物
発明者：岸利治、他3名
権利者：東京大学、他1社
種類：特許
番号：特願 2011-247066
出願年月日：2011年11月11日
国内外の別：国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.iis.u-tokyo.ac.jp/publication/leaflet/111101/leaflet346.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸 利治 (KISHI TOSHIHARU)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号：90251339