

## ひび割れ自己治癒 コンクリートの実構造物 への適用に向けた開発



池野 誠司\*



山田 啓介\*\*



小林 薫\*



増田 達\*

フロンティアサービス研究所で開発を行っている「ひび割れ自己治癒コンクリート」は、硬化後に発生した幅0.2mm程度のひび割れ部において、配合成分の析出によりひび割れを閉塞させる性能を持つコンクリートであり、この機能を持つコンクリートが完成した場合、地下構造で防水工を省略することが期待できるなど、建設時および保守管理上のコストダウンなどの効果が期待できる。

今回、このひび割れ自己治癒コンクリートに関し、実構造物への適用を考慮し、耐久性および打設時の流動性などのフレッシュ性状について確認を行った。その結果、比較となる通常配合のコンクリートと自己治癒コンクリートにおいて大きな差は無く、実構造物への適用に向けて問題の無いことを確認した。

●キーワード：コンクリート、ひび割れ、治癒、耐久性、フレッシュ性状

### 1. はじめに

フロンティアサービス研究所では2002年より「ひび割れ自己治癒コンクリート」の開発を行っており、現在は東京大学生産技術研究所・岸准教授、横浜国立大学細田准教授との共同研究により進めている。ひび割れ自己治癒コンクリートとは、硬化後に発生した幅0.2mm程度のひび割れ部において、配合成分の析出によりひび割れを閉塞させる性能を持つコンクリートである。

この機能を持つコンクリートが完成し鉄道構造物へ適用された場合、高架構造では高架下への雨漏り防止機能が期待できるほか、地下構造ではコンクリートのみで地下水の浸入を防ぐことができ、防水工を省略することが期待できる。結果、建設時および保守管理上のコストダウンとなるほか、快適なサービス空間の提供、信頼される構造物の構築が可能となる（図1）。

今回、このひび割れ自己治癒コンクリートに関し、実構

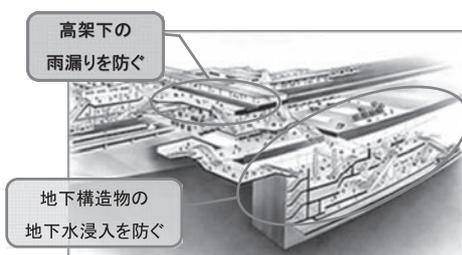


図1 鉄道構造物への自己治癒コンクリートの適用

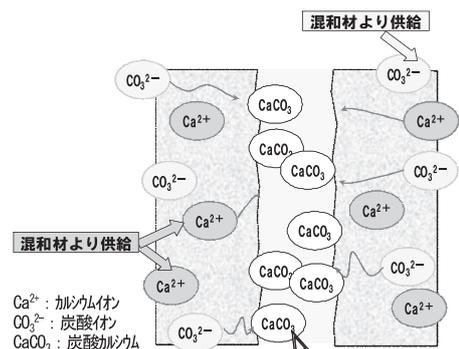
造物への適用を考慮し、耐久性および打設時の流動性などのフレッシュ性状について確認を行ったので報告する。

### 2. 自己治癒コンクリートの概要

#### 2.1 自己治癒の機構

コンクリートは本来、自身でひび割れを修復しようとする性質を、わずかながら持っている。それを材料や配合によってさらに引き出そうとするのが、「ひび割れ自己治癒コンクリート」の基本的な考え方である。

そのメカニズムは、混和材を添加したコンクリートのひび割れに水が浸入すると、炭酸カルシウムが析出し、ひび割れ箇所を修復するものである（図2）。炭酸カルシウムはほぼ鍾乳石と同じ成分で止水性が高く、また非常に安定した物質である。



溶解度の低い炭酸カルシウムの生成により、ひび割れを充填  
図2 ひび割れ自己治癒コンクリートの機構

## 2.2 ひび割れ自己治癒例

ひび割れ自己治癒コンクリートの実験室レベルにおける治癒の事例を表1、図3に示す。

写真で示されているように、時間の経過によりひび割れが析出物により充填され、46日目では完全に閉塞されていることが確認できる。なお、こちらに示されているように、単位セメント量やW/P（水・粉体比）の値は一

表1 自己治癒コンクリート配合例

材料種別		単体量 (kg/m <sup>3</sup> )
セメント	低熱ポルトランド	344
水	W/P=45%	160
混和材A1		20
混和材B1		1

※材齢14日まで気中養生後、ひび割れ導入し、透水開始。

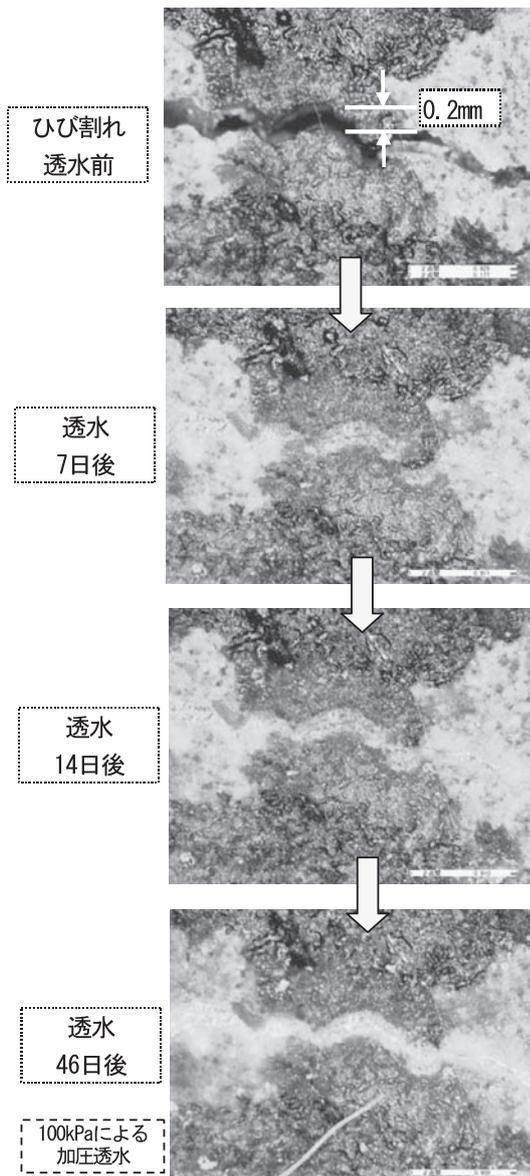


図3 ひび割れ閉塞例（表1配合）

般的なコンクリートのものであり、配合する混和材も比較的入手が容易な無機材料である。

この例のように、一部の配合で透水によるひび割れの閉塞が確認できた。現在は、さまざまな配合条件、環境条件を考慮した検討を継続実施している。

## 3. 実構造物への適用に向けた開発

### 3.1 耐久性確認試験

#### 3.1.1 実施概要

ひび割れ自己治癒コンクリートについて、耐久性に関する各種実験を実施し、影響確認を行った。実施試験内容を表2に、試験体配合を表3、4に示す。なお、ひび割れ自己治癒コンクリートである配合2と3は、基本となる配合1から自己治癒性能を生じさせるために追加した混和材（自己治癒混和材）の配合量分のセメントを減じ、粉体量を一定とした。

表2 耐久性試験実施内容

配合	圧縮強度	凍結融解	促進中性化	モルタルバー法
1	○	○	○	○
2	○	○	○	○
3	○		○	○

表3 コンクリート配合条件（共通）

配合	セメント種類	粗骨材最大寸法 (mm)	設計スランプ (cm)	設計空気量 (%)	水粉体比 W/P (%)	細骨材率 s/a (%)	単体水量 (kg)
1	普通セメント	20	8±2.5	4.5±1.5	55	46	160
2							
3							

表4 自己治癒混和材配合

配合	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	混和材 (kg/m <sup>3</sup> )			粉体計 P (kg/m <sup>3</sup> )
		混和材 A1	混和材 B1	混和材 B2	
1	291	-	-	-	291
2	270	20	1	-	291
3	270	20	-	0.88	291

#### 3.1.2 圧縮強度

圧縮強度試験はJIS A 1108 : 1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」によった。供試体本数は3本1組とし、所定の材齢まで20±2℃の水中で養生を行った。

試験結果を図4に示す。

基本配合であるNo.1と比較した場合、No.2では若干強度が小さく、No.3では若干大きくなったが、その差は小さいものであった。

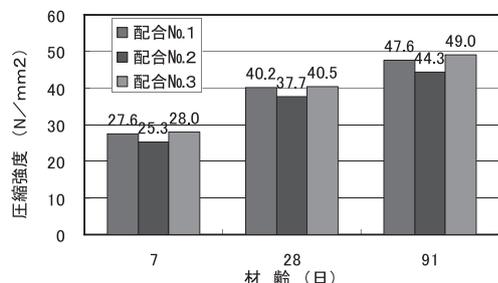


図4 圧縮強度試験結果

### 3.1.3 凍結融解

凍結融解試験はJIS A 1148:2001「コンクリートの凍結融解試験方法」のA法（水中凍結融解試験方法）による。供試体本数は3本1組とし、材齢28日まで $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中で養生を行った後、試験を開始した。

試験は凍結融解の繰り返し中にたわみ振動の一次共鳴振動数および質量の測定を30サイクルごとに行い、耐久性は内部組織の劣化を共鳴振動数より求める動弾性係数の相対低下率（相対動弾性係数）を用いて評価した。なお、試験は300サイクルまで実施した。また、試験体2は混和材に膨張成分を含むため、供試体は拘束端板により拘束状態で試験に供した。

相対動弾性係数の試験結果を図5に示す。

自己治癒混和材を含む配合2は、混和材を含まない配合1に比べ、相対動弾性係数は若干劣っている。しかし、その値は80%を上回り、コンクリート標準示方書（土木学会、2007年制定）<sup>1)</sup>に示されている一般断面における最小限界値70%よりも大きい値であることが確認できた。

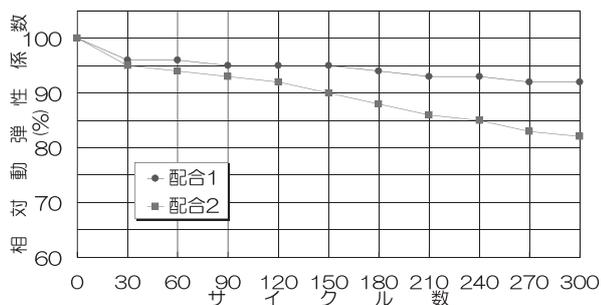


図5 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数)

### 3.1.4 促進中性化試験

促進中性化試験はJIS A 1153:2003「コンクリートの促進中性化試験方法」による。供試体本数は3本1組とし、

水中養生4週および気中養生4週の前養生を行い、その後促進中性化試験槽に設置した。また、試験は中性化試験槽内設置後26週間とした。

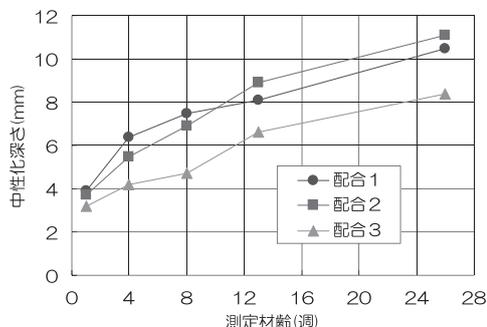


図6 促進中性化試験結果

試験結果を図6に示す。

材齢26週における中性化深さは8~11mm程度であり、その値に大きな差は無かった。

### 3.1.5 モルタルバー法試験

骨材のアルカリシリカ反応性試験（モルタルバー法）はJIS A 1146:2001「骨材のアルカリシリカ反応性試験（モルタルバー法）方法」による。

細骨材にはあらかじめ反応性の無い骨材（事前の試験で「無害」と判定されたもの）、および、反応性が有りとなる骨材（同「無害でない」と判定されたもの）の2種類について、各配合の試験を実施した。また、アルカリ量調整の水酸化ナトリウムの添加量は配合1を基準に全配合で同一とした。

試験結果を図7に示す。なお、ここでは自己治癒混和材の膨張成分の影響を排除するため、2週における膨張率を0としている。「無害」と判定された骨材を使用した場合、配合間の差は無かった。また、「無害でない」と判定された骨材を使用した場合、配合2で膨張率が大きく、配合3では膨張率が小さくなった。これは、配合2における混和材B1にアルカリ金属が含まれていることが影響していると考えられた。そのため、配合2において反応性骨材を使用する場合は、混和材含有のアルカリ量を考慮したアルカリ総量の確認が必要となる（基準値： $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} \leq 30\text{kg}/\text{m}^3$ ）<sup>2)</sup>。

また、配合3ではセメントに置換された混和材中のアルカリ量が、セメントと比較が少ないことが影響していると考えられた。

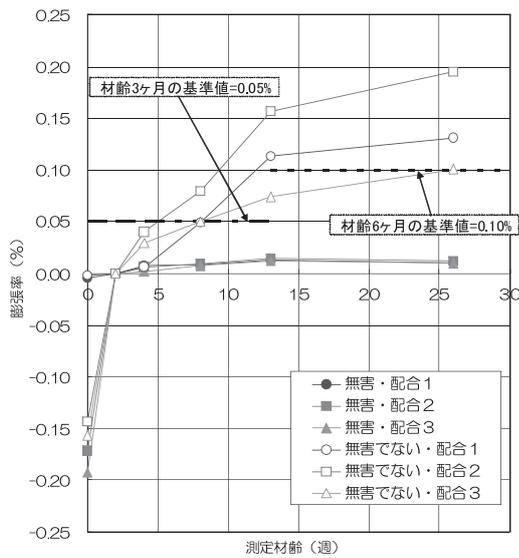


図7 モルタルバー法試験結果

### 3.1.6 耐久性確認試験まとめ

以上で実施した4つの試験の結果、2つの配合のひび割れ自己治癒コンクリートにおいては、耐久性に大きな違いが無いことが確認できた。

## 3.2 施工性確認試験

### 3.2.1 試験概要

ひび割れ自己治癒コンクリートの経過時間によるフレッシュ性状の変化を確認する目的として、配合後のスランプ値の経過時間による変化、および実際の施工機械(実機)による打設試験を実施した。

### 3.2.2 スランプ変化確認試験

ひび割れ自己治癒コンクリートのスランプ変化を確認するため、実際の構造物に適用されている配合を参考に表5の配合表に基づき、スランプの経過時間による変化を確認した。

練り混ぜは50ℓ用ミキサーを用いて実施し、30分後および60分後のスランプ計測は、スコップにより切り返しの後に実施した。

試験結果を図8に示す。

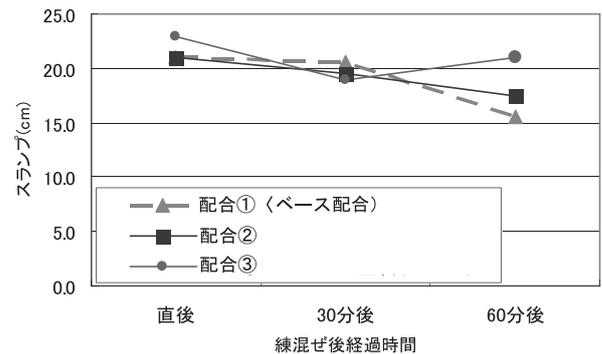


図8 スランプの経過時間による変化

配合②は混和材の配合によるスランプへの影響は見られなかった。また、配合③では、配合①と比較し単位水量を+10kgとすることで、ベースコンクリートと同等のスランプとなることを確認できた。

### 3.2.3 実機練りによる施工性確認

ひび割れ自己治癒コンクリートの実構造物への打設時の施工性への影響を確認するため、実機による練り混ぜ、コンクリート攪拌運搬車(アジテータ車)による運搬および攪拌を実施し、フレッシュ性状への影響確認を実施した。実施フローを図9に、アジテータ車からの卸し状況を図10に示す。

確認の結果、3.2.2の結果と同様、30分後、60分後、および試験体打設時(90分後)のフレッシュ性状(スランプ値)に変化は生じなかった。

### 3.2.4 実機練り配合による桁形試験体製作

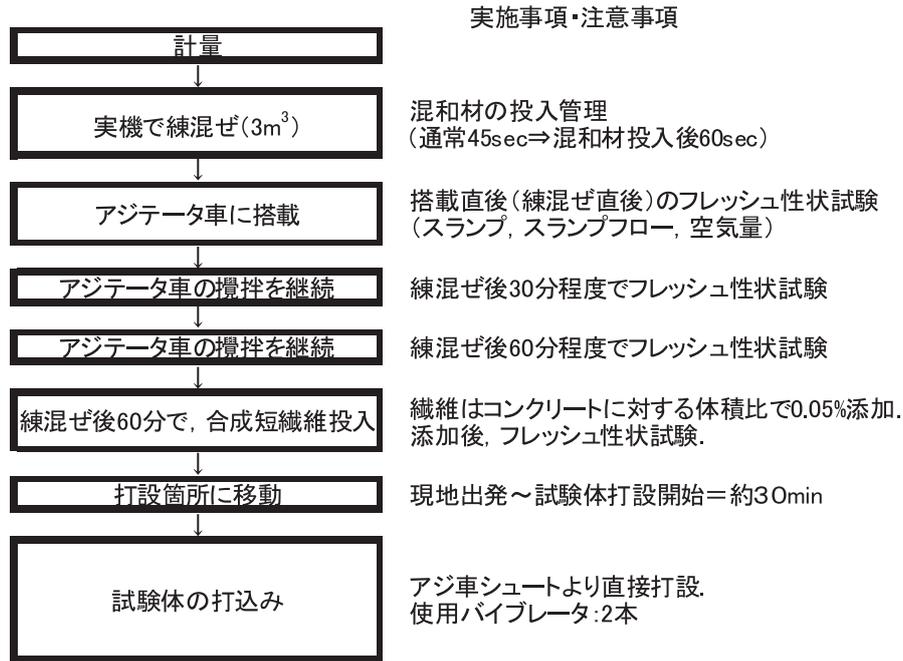
3.2.3で確認を行ったひび割れ自己治癒コンクリートを使用し、桁形の試験体を製作した。試験体には若材齢時にジャッキによりひび割れを導入し、内部に水を常時給水し一定の水位まで貯水することで、導入したひび割れからの漏水状況の変化を確認した。

配合②の結果を図11に示す。幅が数mmあるひび割れでは漏水状況に変化は見られなかったが、閉塞を期待する微細なひび割れ(0.2mm程度)やセパレータ箇所からの漏水が減少し、治癒の効果を確認することができた。なお、配合③においても同様の止水状況を確認している。

表5 実機試験練り示方配合(kg/m<sup>3</sup>)

	セメント N	混和材				水	細骨材		粗骨材 i	混和剤 高性能AE減水剤
		1) 混和材A1	2) 混和材A2	3) 混和材B2	4) 混和材B1		I 山砂	II 陸砂		
① ベース配合	370.0	0.0	0.0	0.0	0.0	175	324	485	920	4.26
② 自己治癒コンクリート	343.0	20.0	5.0	0.0	2.0		319	479		
③ 自己治癒コンクリート	344.0	20.0	5.0	1.0	0.0		175+10	479		

配合目標スランプ=21cm



※現地計測事項(プラント内) : 気温, 湿度(1時間毎)

図9 実機試験練り実施フロー



図10 アジテータ車からの卸し状況 (試験用)

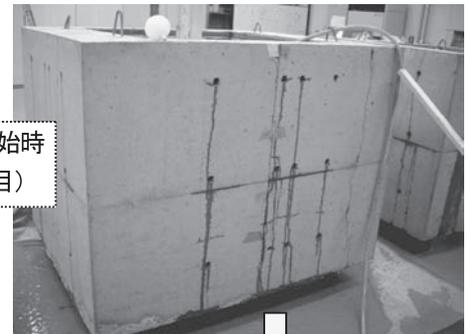


図11 枅形試験体漏水状況変化 (配合②)

## 4. おわりに

コンクリートの収縮ひび割れの発生は、古くて新しい技術課題である。ひび割れから浸入する水がコンクリート中の鉄筋を腐食させると構造物の耐久性を損なうため、従来から有害なひび割れを発生させないという考え方が一般的であった。このため、膨張材や収縮低減材などの混和材の使用や、構造設計においてひび割れ幅が許容値内とするなどの対応を行ってきた。いわば水が「仇」となっていたが、この研究では逆に水に少し助けを借りてコンクリート本来の性能を引き出し構造物の耐久性向上をめざすものである。

本コンクリートの開発はまだ途上の段階であるが、コスト面および確実な治癒性状の向上をめざした検討をさらに進め、早期の実用化に繋げたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 土木学会：2007制定コンクリート標準示方書【設計編】，8.4.1
- 2) JIS A 5308:2003 レディーミクストコンクリート，付属書2 (規定) アルカリシリカ反応抑制対策の方法