



1997年に自己修復性コンクリートの関連研究に着手して以来、既に16年が経過した。その間、断続的に研究開発を継続し、複数の自己治癒機構の開発に取り組んできた。ここでは、過去の技術開発の経緯を振り返ると共に、ひび割れ自己治癒コンクリートの実用化がもたらす効用について展望する。

**第1世代**と位置付けた技術は、水セメント比（水結合材比）が通常よりも低い高強度・高流動コンクリートに膨張材を標準添加量よりも多量に加えたコンクリートであり、2000～2001年頃に取り組んだ。材齢8日にひび割れを導入して水に漬けてから1ヶ月程度でひび割れがほぼ完全に閉合した。

**第2世代**の技術は、予め炭酸塩を混和しておくことで、ひび割れ中に炭酸化カルシウムを析出させることを意図したものである。2004～2006年頃にJR東日本(株)・横浜国立大学と共同で取り組んだ。

**第3世代**の技術（2005～）は、カルシウムサルフォアルミネート(CSA)系膨張材、膨潤性のアルミノシリケート等の粘土鉱物、自己治癒生成物の長期的安定性を高めるために結晶化を促す化学添加剤等を混合して使用する。長期においても比較的優れた自己治癒性能を発揮するが、自己治癒効果と施工性能の両立に課題があるため、現在は既設構造物漏水箇所の補修工法としての適用を先行して進めている。既に実構造物での試験施工において良好な補修効果を確認しており、今年度中の実用化を予定している。

**第4世代**の技術（2009～）は、当初、膨潤作用を有する第3世代の自己治癒組成物と練混ぜ水との接触機会を抑制することを目的として取り組んだ造粒技術である。主に創薬に用いられるカプセル化技術は自己治癒の分野においても常套手段であるが、医薬品とは材料単価が大きく異なる建設材料には適用が難しいと考え、造粒技術を用いた準カプセル化技術の開発を目指してきた。約4年間にわたる検討の過程で、コンクリート中でカプセル化と同様の効果を発揮させるための要件を明らかにし、無機系材料による準カプセル化技術として発展した。自己治癒造粒物は、細骨材と同等の粒度分布を有するものであり、コスト制約の範囲内で、細骨材に任意の割合で置換して使用することが可能である。

**第5世代**の技術（2012～）は、コンクリートに発生するひび割れが、骨材とセメント硬化体の剥離面を繋ぐように伝播することから、自己治癒成分を骨材の表面に選択的に配置させるものである。ただし、予め表面に自己治癒成分をコーティングした骨材をコンクリート工場に持ち込むことはコスト面での制約が大きいことから、発展系として、プラントに持ち込んだ自己治癒組成物を硬化促進剤を使用してコンクリートの製造過程で骨材の表面に選択的に配置させる方法も考案している。

**第6世代**の技術（2013～）は、第4世代と第5世代の技術を組み合わせ、コンクリートの製造プロセスに準カプセル化技術を直接適用することで、自己治癒組成物のみならず、セメント等の結合材をコンクリートの製造過程で準カプセル化し、未反応部分を多く残した状態で長期に温存させる技術である。

図1は、第4世代の準カプセル化技術をベースに、第3世代の自己治癒材料と第6世代に繋がるコンセプトを一部組み入れて2011年11月の千葉実験所公開特別企画として実施した公開実験で打設した円柱供試体に、材齢1年で幅0.2~0.3mmの貫通ひび割れを導入して水頭差80mmで実施した連続通水試験の結果（初期透水量に対する残存透水量の割合の経時変化）である。養生条件は、常温封緘と、当初9ヶ月は40℃封緘で残り3ヶ月を常温封緘とした2種類とした。いずれも急速な止水性の回復が確認できる。写真1は、通水開始後28日時点での円柱供試体底部のひび割れ閉塞状況である。

第1世代から第6世代までの技術は直接ないし間接的にほぼ任意に組み合わせることが可能であり、自己治癒コンクリートの**テラーメイドシステム**の構築を目指している。将来的には、構造物の要求性能と使用条件・環境条件および材料供給の制約条件を考慮しながら、コスト制約下で最もコストパフォーマンスに優れた自己治癒コンクリートを設計・製造することが可能になると考えている。

ひび割れ自己治癒性能は、従来のコンクリートにはほとんど期待できなかった新しい性能といえる。コンクリートに予めひび割れ自己治癒性能を付与することにより、劣化の影の主演である水の浸入を利用して将来のいずれかの時点で発生するひび割れや変状を修復することができるとすれば、それはセンシングと修復機能を兼ね備えた**セルフメンテナンスシステム**といえるであろう。そのような性能を予め付与しておくことは、コンクリートに予防接種をしたり免疫機能を持たせることであり、医療保険や地震保険に加入することと同様の意味があるのではなからうか。

既設構造物の維持管理負担の増加は、新規の建設予算を圧迫するのみならず、現状の予算規模では賅えないほどに膨れ上がる事態が想定されている。膨大なインフラの維持管理負担がローマ帝国を衰退させたとの説も聞く。構造物は耐久消費財ではない。ストックとして社会の営みを支え続ける責務がある。100年という設計耐用期間は設計上の仮定に過ぎない。後世の人々も同じインフラを使い続けるとすれば、初期建設コストにプレミアムを上乘せしても構造物に**無期限の自律的な補修オプション**を付与して**積極的予防保全**へとパラダイムをシフトすることは、十分に合理的な選択といえよう。

準カプセル化技術の高度化により、**革新的建設構造物材料**と称するに相応しい高いひび割れ自己治癒性能を有する**次世代インフラのための次世代コンクリート**の開発を目指している。

【執筆担当 岸 利治】

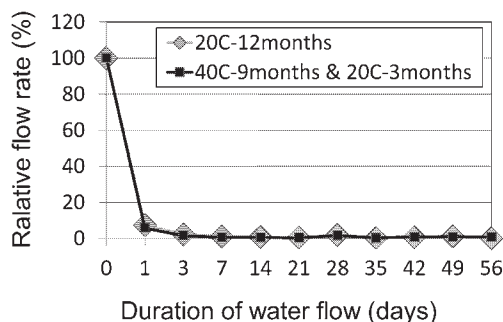


図1 材齢1年で実施した通水試験結果

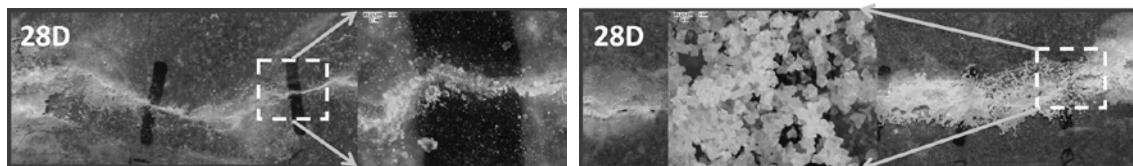


写真1 通水試験28日経過時の底面でのひび割れ閉塞状況（左：常温封緘、右：40℃/常温混合封緘）