

触媒懇談会ニュース

触媒学会シニア懇談会

自己修復の応用と仕掛け — インフラ関係 —

中條哲夫

1. はじめに

自己修復の応用分野は様々あるが、最近頻発する地震を想定して被害最小に貢献出来ないか考えた。国土交通省は自己修復材を取り上げていないが、住宅、公共施設の耐震化を推進している。



図1 国土交通省の取り組み例

インターネット情報であるが、特許を解析した結果では基礎研究から応用へとある。

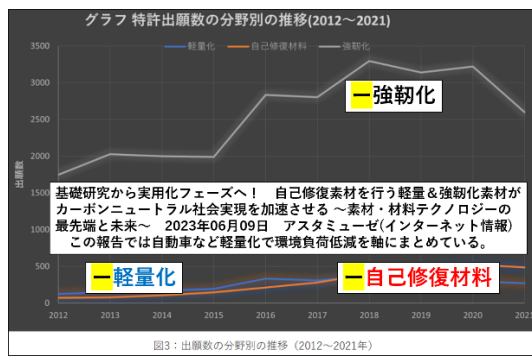


図2 自己修復は実用化フェーズへ期待

自己修復の応用分野は建築・土木、自動車、医療、エレクトロニクスを挙げている。どれも大事だが人命に関わる甚大な災害を避けることで役に立てると考えた。日常ではなかなか建物の中の小さな亀裂を感知できないし修復までは至らない。自己修復なら更に強靱化する事もあるので、素晴らしい事である。

2. インフラの自己修復

主に二つのキーワードに注目してみた

1) コンクリート混和剤：

CA (Crystalline admixture ; 結晶性混和剤)

2) 高吸水性ポリマー：

SAP (Superabsorbent polymer)

2-1 自己修復機能を持つ CA コンクリート

Construction and Building Materials 409 (2023) 134108

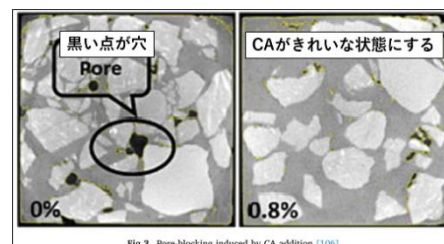


図3 CA含有コンクリート

CA を含有するコンクリートはマトリックス中の小さな穴を消失させる。

図3の説明では CA をわずか 0.8% 添加することで、小さな穴が激減している (macropores)。これがコンクリートマトリックスを強化している (protecting)。

図4、図5は損傷をうけた後で自己修復する様子を表している。

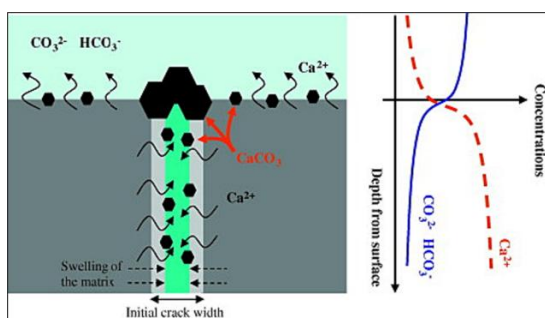


図4 炭酸ガス関与自己修復

図4は CA によってクラックが自己修復するメカニズムを示している。炭酸カルシウムがクラックの穴を塞ぐ。

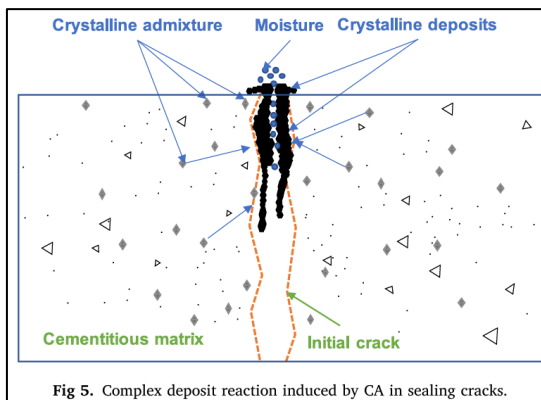


Fig 5. Complex deposit reaction induced by CA in sealing cracks.

図5 水(Moisture)関与自己修復

図5には、酸化カルシウムーシリカ (CaO - SiO₂) などが関与する反応で固体結晶がクラックの入り口を塞ぐメカニズムが示されている。ここで水は CA を促進する重要な役割を果たしている。

現実には各種 CA は略号や未公開で取り扱いされている。多くの場合、加熱と時間をかけて自己修復している。通常このマイクロポアを塞ぐ事でコンクリートマトリックスの強度は増す。

コストも論じられている。1%の CA 添加量で 0.1-0.05\$/kg のコスト増になる。コンクリートは 0.43\$/kg なので、それほど高いものではないとされる。修理する事を考えるならば、修理費、労務費を削減出来る、と記述されている。

もう少し考えてみると、1) 安全性が増す。地震など自然災害への対応として重要である。2) 修理する場合は、足場組立から始まり、作業は大掛かりになる。このようなことは、つい後回しになりがちである。勿論、サンプリングして修理の必要性を確認するのが一般的である。3) コストというより安全性を高められるので、高品質化と言える。

具体的な CA を記述した文献もある：
Construction & Building Materials 453 (2024) 139047 3つの例が紹介されている。

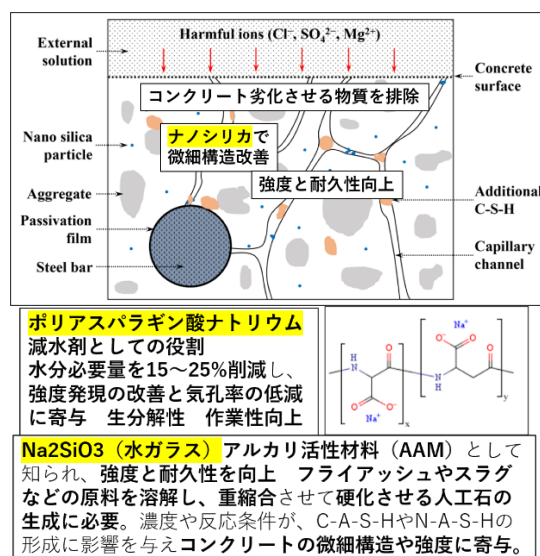


図6 具体的 CA (3例)

ごく少量の添加(0.5-0.15%)で自己修復が達成されている。微細構造が重要である。

2-2 自己修復機能を持つ SAP コンクリート

Case Studies in Const-ruction

Materials 23 (2025) e04935

実はこの内容は、理解に苦しんだ。全体像把握が出来ていないしインフラ関係にも土地勘はない。結局、前記のCAコンクリートのような明確な技術アイテムではなく、まだ開発途上だと分かった。

2-2 (1) 上記文献の概要

まずは super absorbent polymers(SAP)の利用分野としては紙おむつが有名であり、本体の数百倍の水を吸収することができる。日本触媒のホームページを見ると土木用途もある。日用品、園芸用に比べ平均粒径を小さくしている。

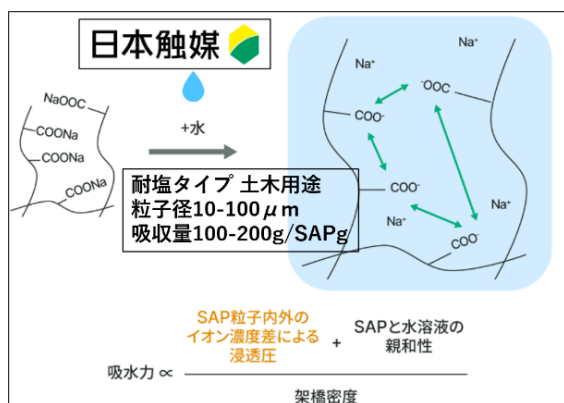
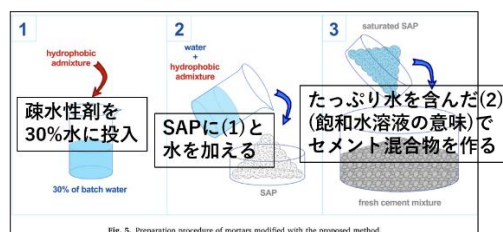


図7 SAP(超吸水ポリマー)の土木用途

この文献では、SAPを用いてセメント混合物を固化しないよう、むしろ相互作用させるように飽和水溶液でセメントを調製している。図9は粒径分布を示し、土木用途としてはやや大き目ではある。その結果、吸収量も 350g-水/SAP-g と多い。



SAPを導入する事で固まらずに徐々に混合し相互作用

図8 セメント混合をSAPで相互作用

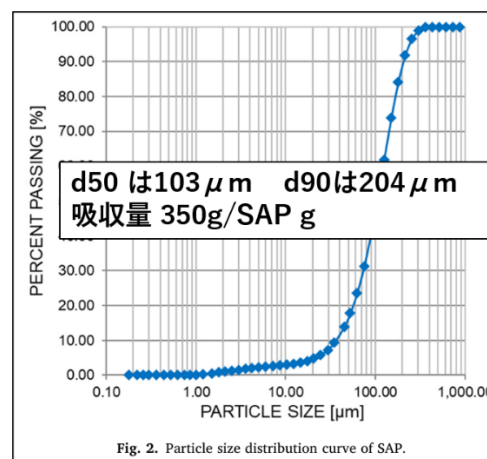
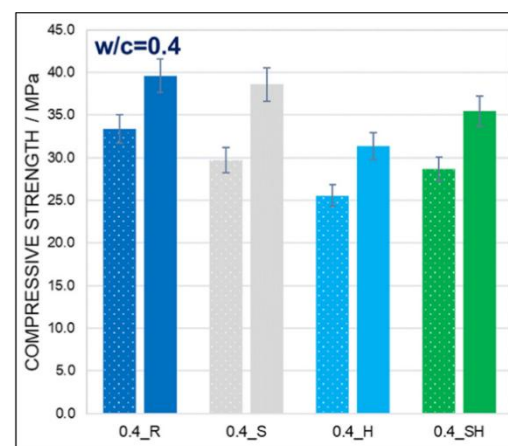


図9 SAP粒径分布(Hg圧入法)

これを使って強度を測定すると一般的に言われているように、SAPを使わない(R)の方が、値が高い結果であった。



水/セメント=0.4 点々の棒28日後 点なし90日後
R:SAP無し S:SAP有り H:疎水性材有り SH:両方有り

図10 各種添加物有無のセメント強度

この方法では以前のSAPの使い方よりも改善がみられるものの、驚愕するには至らない

かった。
強度不足は細孔径の分布 (w/c の割合にも依存) で説明している。やや大き目の細孔容量が効くようにみえる。SAP を含んでいる S の細孔分布は細孔径が小さい側へシフトしている。また SEM 像も S には小さな穴がみられる。これらの結果から SAP を含む細孔径が収縮し強度発現の水和形成がし難い構造になったと考えられる。徐々に放出する仕組みも関係しているだろう。

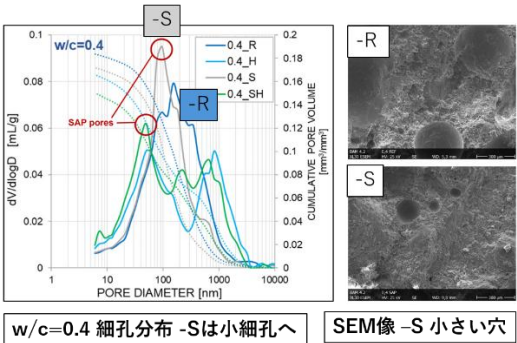


図 1 1 細孔分布と SEM 像

強度は多少低下するが、外部からの力で亀裂が生じた時には自己修復機能を発揮する (as internal curing agents)。

2-2 (2) セメントの自己修復に黒鉛 ポリマーカプセルを追加した。

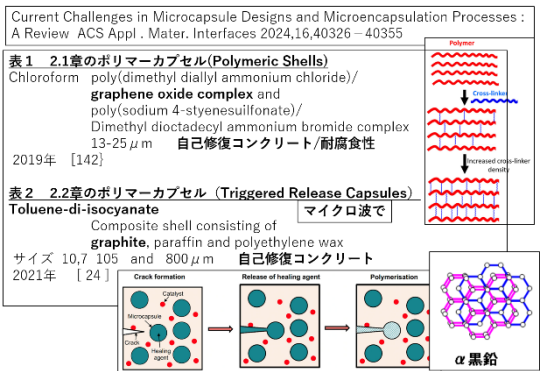


図 1 2 ポリマーカプセルの自己修復の提案

この文献では、食品分野、医薬品、化粧品では「クロスリンク」を導入しているが、図 12

にあるように、コンクリートにも提案している。酸化グラフェンのポリカチオンと界面活性剤のポリアニオンを組み合わせている。これはクロスリンク型である。一方、マイクロ波を使い黒鉛を使い込んでいる。マイクロカプセルの中身にはパラフィンやポリエチレンワックスも含有しているので、黒鉛を起点にエネルギーをもらい自己修復に分散していると思われる。コストは課題、原理確認も必要かもしれない。

3. まとめ

基本的にインターネットで関連文献、特にオープンアクセスで調査した。Web of Science を使えないが挑戦している。

1. 公共施設やマンションなど免震構造が一番安心だがメンテナンスも重要である。自己修復機能を持つコンクリートは注目すべき材料である。
2. CA (crystalline admixture) 結晶混合、SAP 超吸水ポリマー、マイクロカプセル型を取り上げた。CA はトンネル、ダム、道路、橋で試されているようだ。
3. 想定される課題は安全安心の実績だろう。更には材料の認知度向上も重要である。

[近況報告 2026 年夏]

私事ではあるが白内障の手術を受けた。半年で急激に視力低下し生活に支障をきたすようになった。術後は、裸眼で 1.2 となり、読書もパソコンも遠くの方もスッキリキリ見えるようになった。精神的も良い。ただし、部屋の汚れやごみまでも見え過ぎてしまうが。

(日付) 2026 年 8 月 21 日