

自己治癒・自己修復コンクリート



東北工業大学 教授 三橋 博三

1. はじめに

コンクリート材料は、圧縮強度が高く維持管理も比較的容易な建設材料であり、社会基盤構造や建築構造物を形作る主要材料として用いられ始めてから100年以上が経過している。その間、さまざまな新しい社会的要求に対応して、従来からコンクリートに備わっている強度性能や施工性をさらに向上させたり、あるいは弱点を克服するさまざまな技術が開発され、今日に至っている。

コンクリートは、基本的にはセメントと水を練り混ぜて水和反応を生じさせて結合材となし、大小様々な骨材を結合してできるものであるために、水和反応に伴う自己収縮や水分の蒸発・逸散による乾燥収縮は必然的に起こるものである。従って、極めて特別な対策を講じない限り、大小の差はあっても収縮ひび割れの発生を避けることは難しい。また、圧縮応力の作用に対しては比較的高い強度を有してはいるものの、引張応力に対しては圧縮強度の約10分の1と弱く、構造用材料として用いる場合には通常、引張応力の作用部分に対しては鉄筋を適切に配置して補強する事が求められる。従って、コンクリートにひび割れが発生すると、部材剛性の低下に加えて、雨水の浸透などにより鉄筋の錆びを引き起し、構造安全性の低下にもつながるために、構造物の変状を定期的に検査・判断し、適切な維持管理を行うことが求められている。

しかしながら、使用期間中に補修が必要であるとの診断が下された場合であっても、原子力発電施設や常時稼働状態にある高速道路やトンネルなどの社会基盤構造物では、構造物の立地や形状、用途によっては人間が近づくことすらできないために、あるいは長期間にわたる稼働の中断が許されないために、補修が困難となる場合が

ある。また、構造物が大規模であるほど、物理的には検査と補修が可能であっても、コストや時間の面からも包括的な検査と補修の実施は不可能あるいは非常に困難となる。そこで、診断のプロセスで修復の必要性が認められると同時に材料自身が自動的に修復を行うことができれば、その構造物には高い信頼性を付与することができるものと考えられる¹⁾。中でも、コンクリートに不可避免的に発生するひび割れについて、その発生初期の段階から制御や補修を行い、劣化駆動因子の侵入や遮断性能の低下を抑止することで、コンクリート構造物そのものの耐久性を向上させ長寿命化を図ることが期待される。そこで、「コンクリートに発生したひび割れをコンクリート自らが検知し、その補修の必要性を自ら判断し、その決定に基づいて自ら補修を実行する」機能を有する、自己修復コンクリートの開発の現状と今後の展望をテーマとする研究委員会が国内外で設けられ、活発な活動を繰り広げている^{2), 3)}。また、最近になって様々な材料に関する最新の情報を満載した本が出版された⁴⁾。

本稿では、コンクリートに生じたひび割れを自己治癒あるいは自己修復するようなシステム開発に関する研究の現状について概説する。

2. 自己修復機構の分類

コンクリートを「修復する」といっても、生じる劣化は様々であり、その全てを修復可能な自己修復コンクリートの開発は、最終的な目標ではあっても現時点では現実的なものではない。ここで取り上げる研究例は、いずれもコンクリートに生じたひび割れを対象とし、その修復を試みるものではあるが、ターゲットとするひび割れの程度や、修復のための手法はそれぞれ異なっている。

表1 自己修復コンクリートの機構による分類

自己修復機能付与機構		補修材料の供給機構	研究の特徴	文献	
積極的な自己修復機能付与	コンクリート中に機能要素を所定の位置に埋設(自動修復)	コンクリート中に、接着剤供給用脆性パイプを埋設	ひずみ硬化型 FRC の特徴を利用しての適用 . パイプの破損や補修剤放出過程の観察 . 剛性の回復によって効果を評価 .	5)	
			脆性パイプに補修剤貯蔵タンクを連結して供試体外部に補修剤の量を確保 . 更には、パイプをコンクリート内部でネットワーク状に連結して、2 回目・3 回目のひび割れに対応 .	7),12)	
			補修剤がひび割れに放出後、その内部に留まって硬化するために、高粘性補修剤を圧入して供給することを提案 .	8)	
			剛性や靱性など、回復させる対象ごとに接着剤を変更、再載荷時のひび割れの本数によって回復度合いを評価 .	9)	
	混練時に機能要素をランダム混入(自律治癒)	内部に接着剤を封入したカプセルを混練時に混入 セメントに代わる結合材として、 バクテリアを使用	形状記憶合金を鉄筋として使用し、ひび割れを修復	ひび割れ幅が数 cm に達するような大変形になった場合に、1/10 以下のひび割れ幅まで修復 .	13)
			補修剤を封入した中空パイプやマイクロカプセル等をコンクリート混練時に混入 .	2),3)	
自己治癒による自己修復効果(自然治癒)		ひび割れ内部へ水が供給されると、ひび割れ表面で再水和が生じてひび割れを塞ぐ	砂にバクテリアを添加することで炭酸カルシウム結晶を沈殿させる .これをセメントに代わる結合材として使用することを提案 .	14)	
			ひび割れ表面での再水和の機構を提示 .これによって漏水を止めることのできる許容ひび割れ幅を水圧ごとに提示 .	19)	
			上記の再水和に対する水温の影響を 20 ~ 80℃ の範囲で検証 .この範囲では水温が高いほど効果は高い .	20)	
			腐食環境下の繊維補強コンクリートのひび割れが塞がれる	少量の PP 繊維を混入した場合、腐食環境下でひび割れが自動的に塞がることを報告 (ひび割れと鉄筋腐食の関係を検討) .	22)
			炭酸カルシウムは、ひび割れを架橋する細い繊維に析出し易い	水中に溶けた CO ₂ は、コンクリートから誘導される Ca ²⁺ と反応して炭酸カルシウム結晶となってひび割れを架橋する細い繊維上に析出 .	23),24)
			膨張材の水和物析出による追加膨張	アルカリ炭酸塩を混和した膨張コンクリートやエトリンガイト系膨張材とジオマテリアルなどを混和材としている .	25)
フライアッシュのボゾラン反応による生成物	乾燥収縮や凍結融解によるマイクロクラックの充填	26)			

また、どのような事象の確認によって「自己修復」が行われたと見做すか、その時の修復度合いや回復率の評価方法、どの範囲までを自動化するのかといった「自己修復」の定義に関わるような範囲まで含めて、研究例ごとに違いが見られる。そのため、本稿の範囲では、コンクリートに生じるひび割れを、人間の手による直接の補修作業を必要とせずに、コンクリートに予め用意された機構によって、自動的に塞ぐものを対象とした。

また、自己修復コンクリートに関する既往の研究は、その研究方針によって大きく2種類に分類される。すなわち、自己修復という新たな機能を持つコンクリートの開発を目指すものと、コンクリートが本来的に有する自己修復機能の検証を行うものである。代表的な研究例について、自己修復の機構の特徴ごとに分類して簡単にまとめたものを表1に示す。なお、「センサ、プロセッサ、アクチュエータの3つの機能を兼ね備えた新しい材料」というインテリジェント材料本来の定義（航空・電子等技術審議会第13号答申、1991年）を厳格に受け止めれば、機能要素が材料そのものの中に含まれる必要があるため、表1に示す例の全てがその条件を満足するとは限らない点に留意されたい。

ところで、表1にも示すように、自己修復機能をコンクリートに付与しようとする場合には、①自己修復のための補修機構や材料として何を用いるか、②どのような機構でその補修材料をひび割れ内に移動させて充填させるか、の2点が課題となる。

既往の研究では、①のコンクリートのひび割れの補修剤として、例えば気硬性のエチルシアノアクリレート系接着剤、一液型のエポキシ系接着剤、水ガラス系補修剤などが用いられている。①にはこれらに加えて、通常は混和材として用いられているものの、セメントとの水和反応によって補修材料に変化するフライアッシュや膨張材も用いられている。特殊な補修材料としては、生化学反応によって炭酸カルシウム結晶を析出するバクテリアや形状記憶合金を用いた例も報告されている。また、構造安全性のために強度を回復するのか、あるいは耐久性保持のためにひび割れを充填するだけで強度回復を求めないのか等、補修の目的によっても適用できる補修材料やその供給機構が異なる。更には、対象とするひび割れ幅の範囲によっても、補修材料や機構の適用性が大きく影響を受ける。

一方、②補修材料の供給機構としては、(i) ひび割れ

の発生自体が修復機能発現の引き金となるパッシブ型自己修復と、(ii) 必要に応じて外部から何らかの入力や信号を送ることで修復機能発現の引き金とするアクティブ型自己修復の2種類があげられる。前者のパッシブ型は機構の仕組みが単純なので、ごく自然に自己修復機能が発揮できれば問題ないが、機能発現の確実性を確保する事が課題となる。それに対して後者のアクティブ型自己修復では、実際に補修を行うためのデバイスに加え、このデバイスを確実に起動させるための外部入力あるいは信号を送り込むデバイスを併せて設ける必要がある。

また、日本コンクリート工学協会に設けられた「セメント系材料の自己修復性の評価とその利用法研究専門委員会」³⁾では、「自己修復コンクリート」に関連する言葉についての深い議論の末、用語の定義を明確化している。表1の自己修復機能付与機構の欄に示す()内の名称は、その定義に対応している。

3. 自己修復コンクリートの開発例

3.1 パッシブ型自己修復コンクリート

Li⁵⁾らは、補修剤を封入した非常に細いガラスパイプを、擬似ひずみ硬化の特徴を示す繊維補強セメント系複合材ECC (Engineered Cementitious Composite) の内部に埋設することで、パッシブな自己修復機能を持つことができるとしている。そして、通常のコンクリートではなく、微細なひび割れを多数生じさせることのできるECCの特徴を生かして自己修復機能を発揮させる点の重要性を指摘している。しかし、Josephら⁶⁾はパイプ埋設型補修剤供給機構の問題点を指摘している。

一方、脆性パイプに補修剤を内包する方法とは全く異なる補修方法として、Sakaiら¹³⁾は、主筋に形状記憶合金(SMA)を用いたモルタル試験体に対して曲げ載荷試験を行い、自己修復機能の付与が可能であることを確認している。しかしながら、最大変形に至る過程で、SMAとモルタルの付着が完全に破壊されることも確認されている。従って、一旦大きく開いたひび割れが小さく閉じられたことのみで自己修復効果の有効性が確認されたと判断することが妥当かどうかは、議論の余地があると考えられる。

上記の他にも、全く異なる方法で自己修復コンクリートの可能性を探っている例がある。例えばRamakrishnanら¹⁴⁾はバクテリアを利用したコンクリートの補修方法を提案している。これは、結合材にセメントを使用せずに、砂にバクテリア(Bacillus Pasteurii)を混入したものを、コンクリートのひび割れ補修に用いるというものである。これは、通常自然環境下での炭酸カルシウムの析出が、生物学的な反応を伴って生じることを応用したもので、砂とバシルス菌をアンモニアや塩化カルシウムの溶液中に浸漬すると、砂の周囲に炭酸カルシウムが析出するという反応を利用している。バシルス菌は通常地中で見られるごく一般的なバクテリアであり、有機系樹脂等の接着剤だけでなく、セメントすら使用せずに硬化させることが可能であるため、環境負荷の極めて小さい補修材料となる可能性がある。オランダ・デルフト工科大学でもこの種の研究に取り組んでいるが、より詳細な研究例については、例えば文献[4]の中のH.M.Jonkersの論文を参照されたい。

3.2 アクティブ型自己修復コンクリート：破損部発熱センサーを用いた自己修復コンクリートの開発

上述の研究例のほとんどは、ひび割れ発生を検知する脆性パイプあるいはマイクロカプセル中に補修剤を内包させるものであった。それに対して西脇らは^{15), 16), 17)}、ひび割れ発生箇所を選択的に加熱することのできる破損部発熱センサーと、補修剤を内包する熱可塑性のパイプをコンクリート中に併せて埋設する方法を提案した。図1に示す概念図のように、コンクリートにひび割れが発生した場合、損傷箇所でのセンサーの局所的な電気抵抗の上昇による選択的な加熱によって埋設パイプが融解され、その結果補修剤がひび割れ中に放出される。これでひび割れを充填硬化し、加熱によって硬化することで自己補修が完了するというものである。

破損部発熱センサーは、長いガラス繊維を核として、導電体である炭素の微粒子を分散させた樹脂を含浸させて成形したもので、ひずみなどの変形を受けた場合に導電パスが部分的に切断され、局所的に電気抵抗値が増大する特徴がある。従ってこのセンサーに局所的に大きなひずみが発生した状態で通電すると、大きなひずみ部分で抵抗が上昇しているために発熱が集中するので、ひび割れ部分に選択的な加熱を行うことができる。

このセンサーを横断するひび割れ箇所での発熱量を制

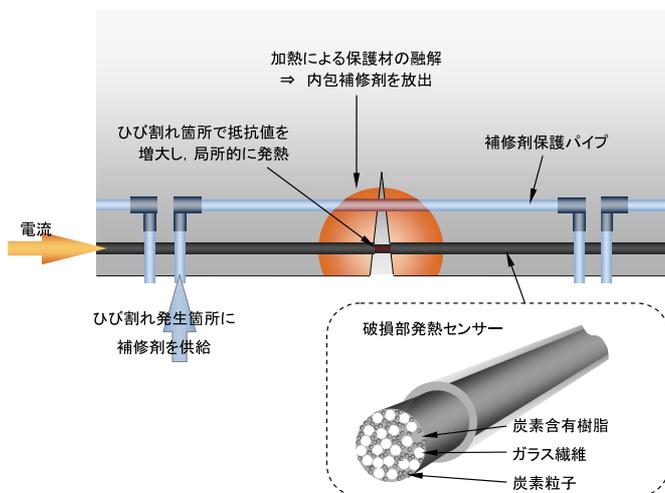


図1 自己修復機能付与の手法

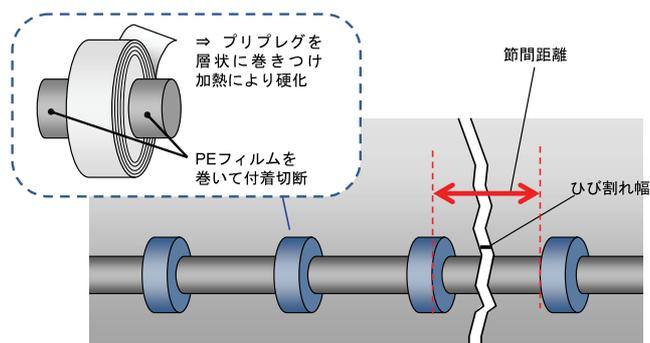


図2 ひび割れ幅とセンサーの電気抵抗を対応させるための異形化

御するためには、ひび割れ幅と電気抵抗の関係を一定に保つ必要がある。そこで図2に示すように、センサーとコンクリートの付着を切った上でセンサーに異形鉄筋のような節を取り付ける方法が提案された。この方法により、節間距離を適切に設定することで、ひび割れ幅に応じて抵抗上昇率の増分を設定でき、対象とするひび割れ幅を考慮した自己修復システムを設計可能となった。

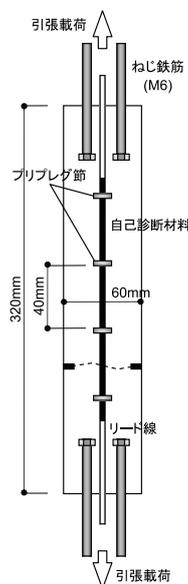


図3 試験体形状¹⁷⁾

提案された方法を検証するための確認試験が実施された。試験体の形状とセンサーの配置を図3に示す。また、ひび割れ発生前後の熱の発生状況を図4に示す。载荷に先立って、ひび割れが発生していない状態で通電を行い、サーモグラフィー観察により試験体表面の温度分布を調べた(図4 (a))。続いて、直接引張力によってひび割れを発生させ、ひび割れ幅と自己診断材料の抵抗値を計測しながら、所定の抵抗上昇率が得られるまで载荷を行った。その後、ひび割れが発生した状態で再度通電を行った(図4 (b))。その結果、ひび割れ発生前はセンサーの周辺で一様に発熱しているが、ひび割れ発生後には、ひび割れが横断する節間に発熱が集中していることが確認された。

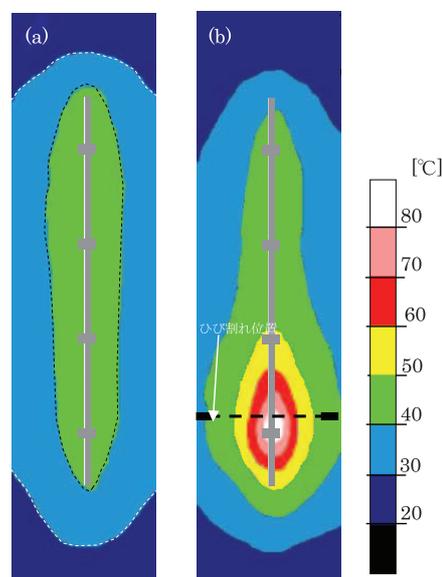


図4 試験体表面温度分布(通電開始30分後)¹⁷⁾
(a) ひび割れなし、(b) ひび割れあり

4. コンクリートの自己治癒型修復特性とその利用

ダムなど、水中のコンクリートではひび割れは時間の経過と共に自己修復される場合のあることが、土木工学の分野ではよく知られている。しかしながら、このようにコンクリートに対して自己修復という特別な機能を付け加えることなく副次的に起こる自己修復の発生機構については、近年まで十分には解明されていなかった。それに対して、Edwardsen¹⁹⁾は、一般的なコンクリートが

試験体種類	浸漬経過日数			
	0日*	3日	14日	28日
FRCC (SC) スチールコード 試験体 No.2 (ひび割れ幅=約 2.0mm)				
FRCC (PE) ポリエチレン 試験体 No.4 (ひび割れ幅=約 0.4mm)				
HFRCC スチールコード +ポリエチレン 試験体 No.1 (ひび割れ幅=約 1.5mm)				

*浸漬開始前

図5 ひび割れ面の繊維架橋と析出物による自己修復^{23), 24)}

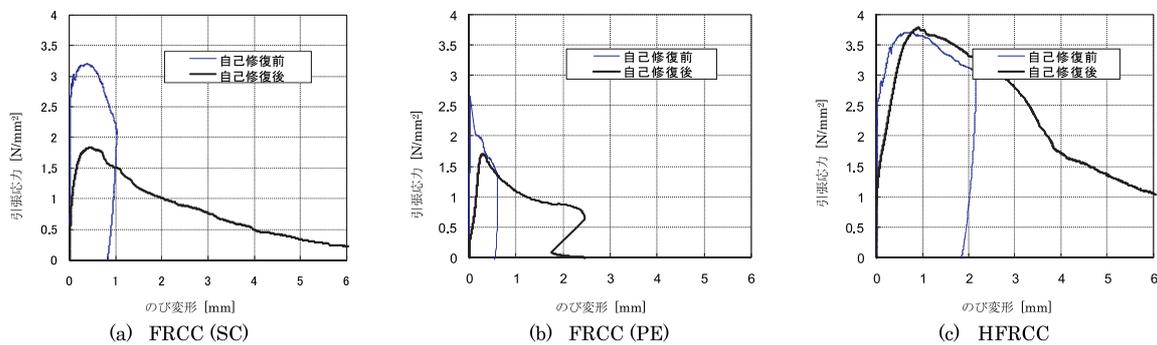
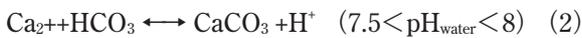
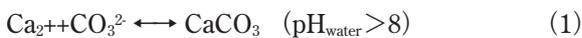


図6 自己修復前後の試験体の引張応力-変形関係の変化^{23), 24)}

本来的に有する自己治癒 (autogenous healing) 機能について検討を行っている。ひび割れ中に圧力を受けた状態で水分が供給されると、 $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ の系の中で、以下の反応式に従ってひび割れの表面に炭酸カルシウムの結晶が析出する。



すなわち、コンクリートから誘導される Ca^{2+} と、水から得られる HCO_3^- もしくは CO_3^{2-} の反応によって、不溶性の炭酸カルシウムがひび割れの表面に析出し、ひび割れを塞ぐことができる。この自己治癒効果には、ひび割れ幅と供給される水圧が大きく影響し、コンクリートの組織や水の硬度の影響は小さいことが分っている。

また、Reinhardtら²⁰⁾らは、未水和セメントの再水和による自己治癒効果に及ぼす温度の影響について検討している。例えば、ひび割れ幅0.05mmで80°Cの条件下において75時間浸漬したところ、ひび割れを透過する水量は

初期透水量の約3%まで減少した。但し、温度を上げたとしても、自己治癒可能なひび割れ幅には限界があった。一方、Liら²¹⁾はビニロン2 vol%を含む前述のECCを用いて乾湿繰返し実験を行い、自己治癒効果に及ぼすひび割れ幅の影響について検討した。その結果、ひび割れ幅が150 μm 程度以下では環境条件により自己治癒効果も確認できるが、150 μm 以上の場合にはひび割れは回復しにくいと報告している。また、ECCには多量のフライアッシュが含まれていることから、ひび割れ部位でC-S-Hゲルと同様の水和物が新たに形成されている事が観察された。本間ら^{23), 24)}は、繊維の種類とひび割れ幅を変化させながら、繊維補強セメント系複合材料を用いた場合の自己治癒の様子を、マイクロSCOPE画像と透水試験により確認している。更に、自己治癒前後の引張応力変位曲線を評価すると共に、ラマン分光分析の結果、自己治癒の原因物質は炭酸カルシウム結晶であることを明らかにしている。これらの試験結果より、単位体積当りの細

い繊維混入本数がひび割れの自己治癒作用に大きな影響を及ぼすこと、即ちひび割れを架橋している細い繊維が炭酸カルシウム結晶の析出を助けて大きく寄与する結果、自己治癒作用につながり易いこと(図5)、ポリエチレン繊維のみでは強度回復は除荷時荷重レベル程度までと限定的であるのに対して、スチールコードとポリエチレンのハイブリッド型繊維補強の場合には初期載荷時の引張強度を上回る程度までの強度回復が確認されたこと(図6)などが報告されている。

この他にも、混和材に高炉スラグやフライアッシュを用いたコンクリートの自己治癒効果についての研究例が幾つか報告されている³⁾。中でも岸・細田ら²⁵⁾は、膨張材を用いて実際のトンネル覆工の水密性を自己治癒効果により修復した事例を報告している。また、濱ら²⁶⁾はフライアッシュの継続的な水和反応を活用して、凍結融解や乾燥収縮によるマイクロクラックが実環境下を模擬した養生条件下でも治癒できることを報告している。

5. おわりに

「自己修復コンクリート」の開発研究の現状について概説したが、このテーマに関する研究は国内外で現在急速に進みつつある。その中には、細菌によるコンクリートの自己修復など、既往のコンクリート工学研究の枠を越えた全く新しい夢に満ちたアイデアも提案されている。また、実際のコンクリート構造物にも近い将来には適用される可能性もあり、今後一層の発展が期待される。

【参考文献】

- 1) 三橋博三：自己修復型コンクリート実現の夢、コンクリート工学、Vol.44, No.1, pp.91-95, 2006.
- 2) JCI文献調査委員会(西脇智哉)：ひび割れを対象とした自己修復コンクリート、コンクリート工学、Vol.45, No.16, pp.169-175, 2007.10.
- 3) 日本コンクリート工学協会：セメント系材料の自己修復性の評価とその利用法研究、専門委員会報告書、2009.3.
- 4) 新谷紀雄(監修)：最新の自己修復材料と実用例、シーエムシー出版、326p., 2010.5.
- 5) V.C. Li, Y.M. Lim and Y.W. Chan: Feasibility Study of a Passive Smart Self-Healing Cementitious Composite, Composites Part B, 29B, pp.819-817, 1998.
- 6) C. Joseph, A.D. Jefferson and M.B. Cantoni: Issues Relating to the Autonomic Healing of Cementitious Materials, Self-healing materials (an alternative approach to 20 centuries of materials science), van der Zwaag S. (editor), Springer Series in MATERIALS SCIENCE, Dordrecht, The Netherlands, 2007.
- 7) T. Nishiwaki, J.P. de B. Leite, and H. Mihashi: Enhancement in Durability of Concrete Structures with Use of High-Performance Fibre Reinforced

Cementitious Composites, Proceedings of the Fourth International Conference on Concrete under Severe Conditions: Environment & Loading; CONSEC' 04, Vol.2, pp.1524-1531, 2004.6.

- 8) J.P. Ou and H. Li: Smart Concrete and Structure, Proc. Int. Workshop on Durability of Reinforced Concrete under Combined Mechanical and Climatic Loads, T. Zhao, F.H. Wittmann & T. Ueda (eds.), Aedificatio Publishers, pp.83-93, 2005.
- 9) C.M. Dry: Design of Self-growing, Self-sensing and Self-repairing Materials for Engineering Applications, Proc. of SPIE, Vol.4234, pp.23-29, 2001.
- 10) 三橋博三：コンクリートの自己修復、ここまで来た自己修復材料、(自己修復研究会編)、工業調査会、pp.160-180, 2003.
- 11) 勝畑敏幸、大濱嘉彦、出村克宜：低ポリマーセメント比の硬化剤無添加エポキシ樹脂混入ポリマーセメントモルタルの微細ひび割れの自己修復機能、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1材料施工、pp.664-666, 2001.
- 12) 西脇智哉、水上卓也、三橋博三、杉田稔：コンクリートに対する自己修復機能付与のための細孔ネットワーク作製に関する実験的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、A-1材料施工、pp.121-124, 2005.9.
- 13) Y. Sakai, Y. Kitagawa, T. Fukuta, and M. Iiba: Experimental Study on Enhancement of Self-restoration of Concrete Beams using SMA Wire, Proc. of SPIE, Vol.5057, pp.178-186, 2003.
- 14) S.K. Ramachandran, V. Ramakrishnan, and S.S. Bang: Remediation of Concrete Using Micro-Organisms, ACI Material Journal, Vol.98, No. 1, pp.3-9, 2001.
- 15) 西脇智哉、三橋博三、張炳國、杉田稔：発熱デバイスを利用した自己修復機能を有するインテリジェントコンクリートの開発に関する基礎的研究、コンクリート工学論文集、Vol.16, No.2, pp.81-88, 2005.5.
- 16) T. Nishiwaki, H. Mihashi, B. K. Jang and K. Miura: Development of Self-Healing System for Concrete with Selective Heating around Crack, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 4, No.2, pp.267-275, 2006.
- 17) 西脇智哉、三浦和晃、三橋博三、奥原芳樹：自己修復コンクリートの開発を目的とした発熱デバイスに関する研究、コンクリート工学年次論文論文集、Vol.28, No.1, pp.2111-2116, 2006.7.
- 18) 西脇智哉、三橋博三：連結材ユニットを利用した自己修復コンクリートの補修効果に関する実験的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、A-1材料施工、pp.249-250, 2008.9.
- 19) C. Edvardsen: Water Permeability and Autogenous Healing of Cracks in Concrete, ACI Materials Journal, Vol.96, pp.448-454, 1999.
- 20) H.W. Reinhardt and M. Jooss: Permeability and Self-Healing of Cracked Concrete as a Function of Temperature and Crack Width, Cement and Concrete Research, Vol.33, pp.981-985, 2003.
- 21) V.C. Li and E.H. Yang: Self-healing in Concrete Materials, Self-healing materials (an alternative approach to 20 centuries of materials science), van der Zwaag S. (editor), Springer Series in MATERIALS SCIENCE, Dordrecht, The Netherlands, pp.161-193, 2007.
- 22) M.A. Sanjuan, C. Andrade, and A. Bentur: Effect of Crack Control in Mortars Containing Polypropylene Fibers on the Corrosion of Steel in a Cementitious Matrix, ACI Materials Journal, Vol.94, pp.134-141, 1997.
- 23) 本間大輔、三橋博三、西脇智哉、水上卓也：繊維補強セメント系複合材料のひび割れ自己修復機能に関する実験的研究、セメント・コンクリート論文集、No.61, pp.442-449, 2007.
- 24) D. Homma, H. Mihashi and T. Nishiwaki: Self-Healing Capability of Fibre Reinforced Cementitious Composites, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.7, No.2, pp.217-228, 2009.
- 25) T. Kishi, T.H. Ahn, A. Hosoda, S. Suzuki and H. Takaoka: Self-healing Behavior by Cementitious Recrystallization of Cracked Concrete Incorporating Expansive Agent, Self-healing materials (an alternative approach to 20 centuries of materials science), van der Zwaag S. (editor), Springer Series in MATERIALS SCIENCE, Dordrecht, The Netherlands, 2007.
- 26) 濱幸雄、谷口円、桂修：早強・低熱系セメントおよびフライアッシュを用いたコンクリートの自己修復性能、日本建築学会大会学術講演梗概集A-1, pp.515-516, 2006.

プロフィール

三橋 博三 (みはし・ひろぞう)

東北工業大学建築学科 教授

専門分野：建築材料学

最近の研究テーマ：高性能繊維補強セメント系複合材料の

開発、マイクロカプセルを用いたインテリジェントコンクリートの開発、コンクリートの収縮ひび割れ軽減に関する研究、既存コンクリート構造物の性能評価、等