

高撥水性シール工法による コンクリート表層品質向上技術

渡邊賢三*1・坂井吾郎*2・坂田 昇*3・石田哲也*4

概要 高い撥水性を有する熱可塑性樹脂シートを予め型枠に貼付し、型枠取外し後もコンクリート表面に残置して長期養生を行う工法について、その特長やコンクリートの表層品質改善効果を紹介する。コンクリート中の自由水を養生水として利用して長期間に亘って湿潤養生を行う本工法は、水セメント比を低減することなく、遮塩性などの物質遮断性、耐久性を改善できる技術である。本報では、品質改善に関する各種データと実構造物への適用事例について示す。

キーワード：養生、耐久性、湿潤養生、水分逸散抑制養生、熱可塑性樹脂シート、撥水性、表層品質

1. はじめに

コンクリート構造物の設計において、コンクリートの耐久性を向上させるためには、一般に水セメント比（以下、W/Cと称す）を低減することが有効である。しかしながら、W/Cの低減は、単位セメント量の増大を伴うため、マスコンクリートの多い土木構造物においては、かえって温度ひび割れによる耐久性の低下が懸念される。一方、コンクリート構造物の耐久性については、一般的には外部からの劣化因子の浸透によって生じる事象がほとんどであるため、表層部を改善し、高耐久化しておくことが合理的である¹⁾。そこで、表層部の高耐久化の手段としては表面被覆工、表面改質剤、埋設型枠などの使用などが挙げられる。近年、高度化した養生によってコンクリート自身の持つポテンシャルを十分に発揮させる試みが数多く開発されてきている²⁾。本稿では、高撥水性を有する熱可塑性樹脂シート（以下、シートと称す）を用いることで、コンクリート表面を改質するとともに、湿潤状態を長期間保つことができる新しい養生方法（以下、高撥水性シール工法と称す）について述べ、コンクリートの耐久性に及ぼす影響および実構造物への適用の結果などについて紹介する。

2. 高撥水性シール工法の概要

高撥水性シール工法とは、予め型枠の内面にシート（写真-1）を貼付し、図-1に示すようにコンクリートを打ち込み、型枠取外し後はコンクリート表面にシートを

残置することで、水分の逸散を防止できる工法「美（うつく）シール[®]工法」である^{3),4)}。

シートの特長として、水との接触角が90°以上という高撥水性、および高い水蒸気遮断性を有し、半透明であることから養生中もコンクリート表面を視認できる特長を有する。

また、高撥水性シール工法により、型枠取外し後にコンクリート表面を一度も外気に曝すことなく、土木学会コンクリート標準示方書（以下、示方書と称す）【施工編】⁵⁾で示されている標準的な湿潤養生期間の目安を大幅に超える数カ月から1年以上の期間に亘って確実に養生することが可能となり、コンクリートの水和反応が十分に進むまで湿潤状態を保つことができる。



写真-1 高撥水性を有する熱可塑性樹脂シート

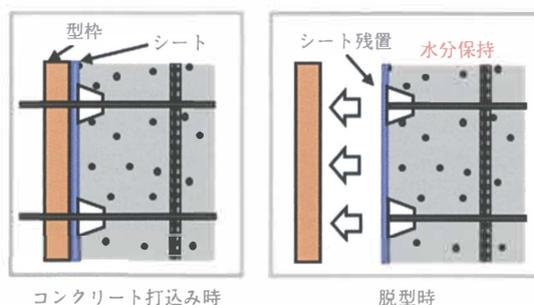


図-1 高撥水性シール工法の概要

*1 わたなべ・けんぞう/鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 上席研究員 (正会員)
 *2 さかい・ごろう/鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ グループ長 (正会員)
 *3 さかた・のぼる/鹿島建設(株) 土木管理本部 土木技術部長 (正会員)
 *4 いしだ・てつや/東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 (正会員)

3. 高撥水性シール工法の特長

高撥水性シール工法を適用することによって2つの効果を得られる。1つ目はフレッシュコンクリートが打ち込まれ、硬化する際に、シートの高撥水性がコンクリートの表層を改質する点である。2つ目はシートをコンクリート表面に残置することによって、一度も乾燥を受けることなく長期間の水分逸散を防止し、確実な湿潤養生ができる点である。

3.1 シートの撥水効果による表層の改質

図-2の概念図に示すように、W/C=35%程度以下の高強度コンクリートは、ブリーディング水が少ないために全体が緻密となり、表層部分から内部まで、さらに上下位置においても比較的均質な躯体が構築される。また、コンクリートの外観としては光が反射するほどの光沢があるのが特徴である。これに対し、W/C=55%程度の普通強度のコンクリートは、図-3の概念図に示すよう

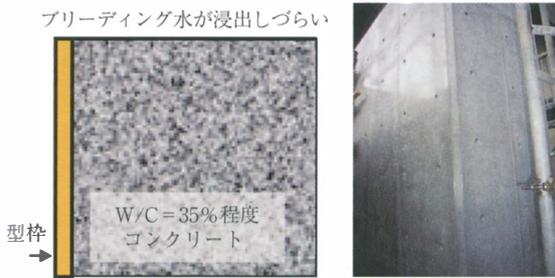


図-2 高強度コンクリートの表層品質の概念図と外観

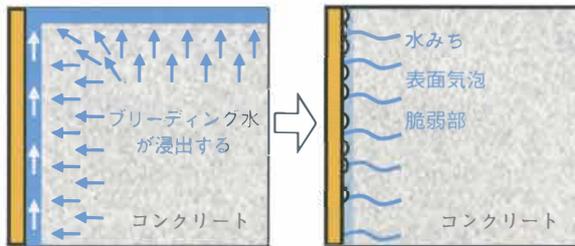


図-3 普通コンクリートの表層品質の概念図

に、一般的にブリーディングが浸出し易い。特に型枠近傍ではブリーディング水の影響によってW/Cが内部よりも大きくなり⁶⁾、将来的に劣化因子の移動経路となる水みち、表面気泡あるいは砂すじなどの発生などによって表層部の品質が低下しやすい状況にあると考えられる。さらに、上下位置における品質のばらつきは大きくなりやすい傾向にある。

一方、W/C=55%程度の普通強度のコンクリートに高撥水性シール工法を適用した場合の概念図と外観を図-4に示す。高撥水性を有するシートの効果によって、コンクリート表面へのブリーディング水の移動が制限されることによって、品質が均質で、水みちや表面気泡などの脆弱部の発生を抑制し、コンクリート表層部が緻密になると考えられる。ここで、写真-2に高撥水性シール工法による表面気泡の減少効果を示す⁷⁾。同一のコン

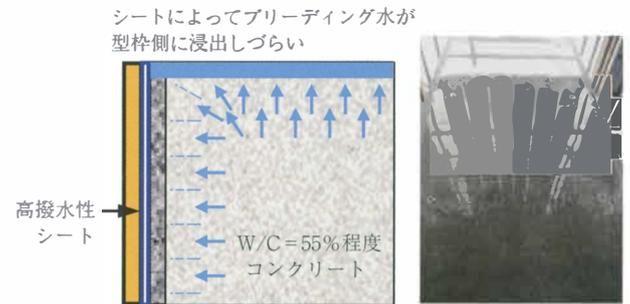


図-4 高撥水性シール工法による表層品質改質の概念図と外観



写真-2 高撥水性シール工法による表面気泡の減少

Concrete Surface Quality Improvement Technique Using Highly Water Repellent Sealing Method

By K. Watanabe, G. Sakai, N. Sakata and T. Ishida

Concrete Journal, Vol.54, No.11, pp.1105~1110, Nov. 2016

Synopsis This paper introduces the features of a concrete surface quality improvement technique that consists in applying a highly water repellent thermoplastic resin sheet to the mold in advance, and leaving this thermoplastic resin sheet on the concrete surface during the long-term curing period that follows formwork removal, and it describes the improvements in concrete surface quality that can be obtained with this method. This method, which achieves wet curing over a long period using the free water in the concrete as curing water, can yield improvements in chloride transport resistance and other physical barrier properties, and thus durability, without reduction of the water-cement ratio. In addition to presenting various data related to quality improvement, this paper introduces case studies of application of this method to actual structures.

Keywords : curing, durability, wet curing, moisture diffusion controlled curing, thermoplastic resin sheet, water repellency, surface quality

クリートをを用いて同様に締め固めても高撥水性シール工法によって表面気泡が減少する。

3.2 長期に亘る水分逸散防止養生による表層の改質

(1) 養生方法および養生材齢が各種性能に与える影響
 示方書【施工編】では「湿潤状態に保つ」として、表-1に示す「給水養生」と「水分逸散抑制養生」の2つが定義されている⁵⁾。これらの養生の効果は配合等によって異なると考えられるが、例えばコンクリートの水セメント比の観点から整理すると図-5のように示される⁴⁾。一般に水分逸散抑制養生に比べ給水養生の方が、コンクリートの性能を引き出す上で優れている。特に、W/C=35%程度以下の高強度コンクリートは自由水量が少なく、水和反応による水の消費により内部の相対湿度が低下することから、給水養生の方が優位になる。一方、一般に土木工事で広く用いられる W/C=50~55%程度の通常のコンクリートは、水和反応に必要な量よりも多くの自由水を保有しているために、水分逸散をある程度抑制できれば、給水養生とほぼ同等の効果が得られることが予想される。

また、セメントの水和速度に着目して湿潤養生期間の効果を整理すると図-6に示すようになる⁴⁾。数日間型枠を存置するような従来の養生に比べて、数カ月間のような長期に亘る湿潤養生を可能とすることで、セメントの水和を停滞させることなく、コンクリートが本来有するポテンシャルを十分に引き出すことができる。その程度は、水和反応の遅いセメント、例えばフライアッシュセメントのような混合セメントほど顕著になると考えられる。

(2) 水分逸散抑制養生の種類

水分逸散抑制養生の種類は広く、現場封緘のようなレベルから、水分逸散を防止できるレベルまで様々である。図-7に実構造物の壁、柱の養生を想定した、水分逸散抑制養生の能力に関する概念図を示す⁴⁾。せき板存置は水分逸散抑制効果が見込めるものの、工程の制約からせき板の存置期間が短くなることやせき板への吸水が想定される。フィルム被覆は柱部材では有効であるものの、壁への適用が困難なこと、型枠の取外しからフィルム被覆までの乾燥を避けることが難しく、若材齢において少なくとも数時間の乾燥を余儀なくされる。膜養生剤は型枠の取外しから塗布までに時間を有することや、膜養生剤自体の水分逸散抑制効果、さらには塗りむらによる品質のばらつきが生じ易いという課題がある。養生マットの設置を柱もしくは壁に適用する場合、養生マットを確実に敷設することが難しく水分逸散抑制に課題がある。一方、高撥水性シール工法は図-1に示すように打込みから一度も乾燥させることなく、さらに均一な品質を実現し、水分逸散防止に近い養生が可能であり、特に、写真-3に示すように冬期の型枠の取外しの際に生じる温度差による湯気状の水分逸散⁶⁾を完全に防止できる。

表-1 土木学会コンクリート標準示方書に示される養生方法の抜粋

目的	対象	対策	具体的な手段
湿潤状態に保つ	コンクリート全般	給水	湛水、散水、湿布、養生マット等
		水分逸散抑制	せき板存置、シート・フィルム被覆、膜養生剤等

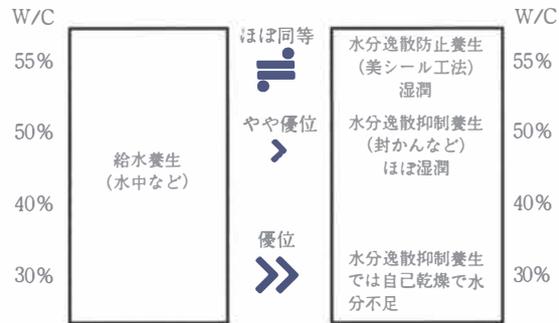


図-5 湿潤養生の効果とコンクリートの W/C の関係

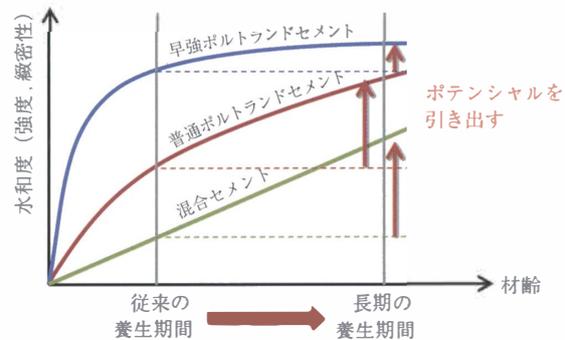


図-6 セメント種類と養生効果の概念図

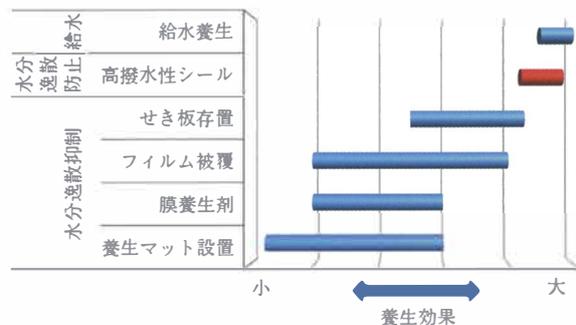


図-7 湿潤養生効果の概念図



写真-3 実構造物に生じる水分の逸散状況

3.3 高撥水性シール工法による複合効果

前述の3.1および3.2に示したとおり、高撥水性シール工法をW/C=50~55%程度の通常コンクリートに用いることによって、まず実構造物のコンクリート表層部の脆弱部の発生を抑制し、全体を均一に緻密化でき、それに加えて内部に十分に存在する自由水によって長期に亘って水中養生に近い状態で養生できる。これらの複合効果によって、コンクリート自身の持つ性能を十分に引き出せるものと考えられる。

4. 高撥水性シール工法の具体的効果

4.1 シートによるコンクリート表面の改質

シートが高撥水性を有し水分逸散を防止するため、長期に亘り養生することで、一般的な養生に比べてコンクリートの表層部が改質される。その効果を図-8に示す⁹⁾。図に示すように、通常の合板型枠（以下、合板と称す）と高撥水性シール工法を適用したケースを比較すると、合板では表面に近いほどピッカース硬さが小さくなる傾向にあるのに対し、高撥水性シール工法のケースでは5μm深度のピッカース硬さが高くなった。このように表層部の硬度が大きく、組織が緻密になると考えられる。

4.2 高撥水性シール工法による耐中性化性能の改善

シートを用いて長期に水分逸散を防止する養生を行うことで、物質遮断性が向上する。その効果のうち中性化

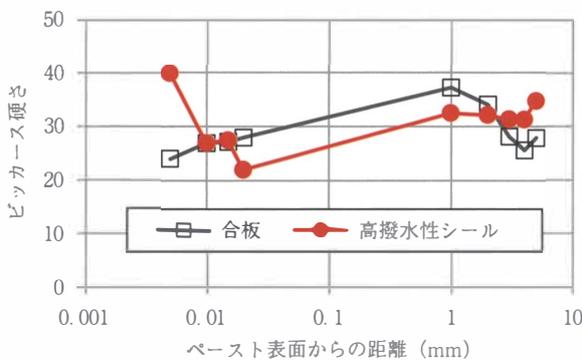


図-8 深さ方向におけるピッカース硬さ

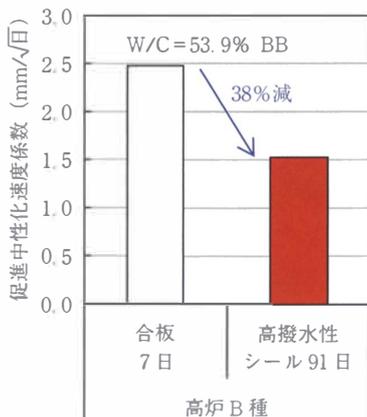


図-9 高撥水性シール工法の中性化抵抗性に対する効果

に関する効果を図-9に示す¹⁰⁾。図は高炉セメントB種を用いたコンクリートを対象として養生方法の異なる2種類の供試体を同一材齢(98日)で促進中性化試験を開始し、中性化速度係数を算出した結果を示す。高撥水性シール工法を適用したケースでは、合板のケースに対し中性化速度が約4割小さくなる。

4.3 高撥水性シール工法による遮塩性の改善

高撥水性シール工法による物質遮断性への効果のうち遮塩性に関する効果を図-10に示す¹⁰⁾。図は高炉セメントB種を用いた図-9と同じコンクリートを1日/週の頻度で人工海水に浸漬する乾湿繰返し環境に13週間曝した後の、塩化物イオンの濃度分布を示す。高撥水性シール工法を行うことで、合板のケースよりも塩分が内部に浸透せず表面近傍に停滞し、遮塩性が向上する。

さらに、図-11は、フライアッシュセメントB種相当を用いたW/C=55%のモルタルを日本海沿岸の実環境に暴露して得られた塩分浸透結果である¹¹⁾。7日間の封緘養生のみのケースに比べ、91日間の高撥水性シール工法を実施したモルタルは、内部への浸透が抑制されており、フライアッシュセメントを用いたコンクリートの遮塩性改善の効果が高い。

4.4 高撥水性シール工法による乾燥収縮ひずみの低減

下村らは材料、配合、養生条件などの影響を考慮できる乾燥収縮モデルを構築しており¹²⁾、このモデルによれば、コンクリートの乾燥収縮ひずみの収束値は、湿潤養

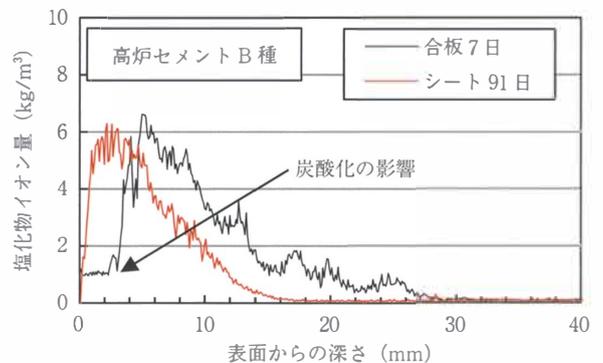


図-10 高炉セメントB種を用いたコンクリートに対する高撥水性シール工法の遮塩性改善効果

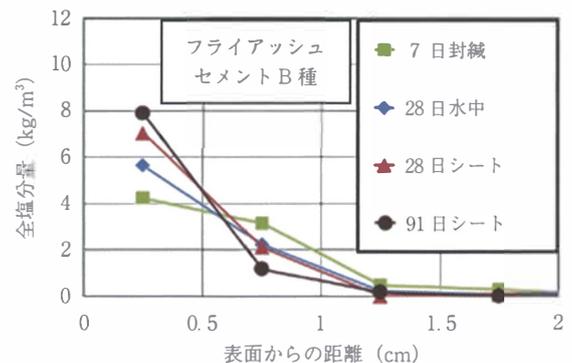


図-11 フライアッシュセメントを用いたコンクリートに対する高撥水性シール工法の遮塩性改善効果

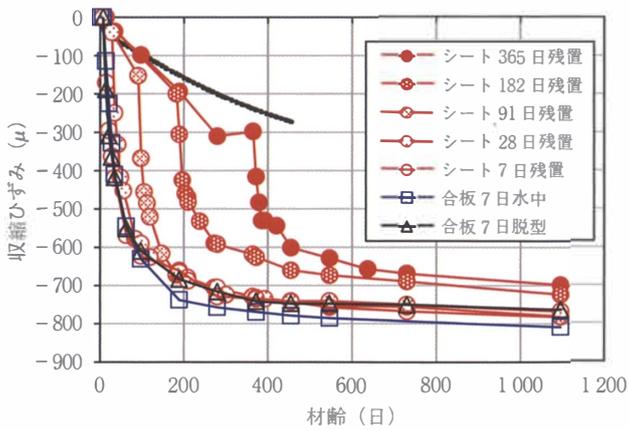


図-12 高撥水性シール工法の乾燥収縮に対する効果

生期間によって異なることを示している。一方、OPCを用いた W/C=55%のコンクリートを最長365日間養生した結果、図-12に示すように乾燥収縮ひずみ収束値が低減した¹³⁾。高撥水性シール工法は、実構造物に対して365日程度の長期間の湿潤養生も可能であり、長期湿潤養生による乾燥収縮ひずみの低減を実現できる可能性のある養生方法である。

5. 実構造物への適用

上述した高撥水性シール工法の効果は実構造物でも同様に得られる。

実構造物の施工において、シートの効果を用い表面気泡を減少した事例を図-13に示す¹⁴⁾。図に示すように、長さ×高さ×幅が約26×2×0.5mの実構造物の2枚の縦壁を対象として、片側に高撥水性シール工法を適用した。その結果、表面気泡量が減少すると共に、測定位置間のばらつきも減少した。

写真-4は橋梁のフーチングに高撥水性シール工法で養生を行っている状況である¹⁵⁾。比較のため、一般的な化粧合板で打ち込んだコンクリートについて非破壊試験で評価している。なお、コンクリートは高炉セメントB種を用い、単位水量156 kg/m³、W/C=50.5%であり、通常施工として型枠を材齢7日で取り外した面とシートを28日間残置した面を対象としている。なお、測定点6点の平均と標準偏差から求めたデータのばらつきについても示している。

図-14に示すように、高撥水性シール工法を材齢28日まで適用した方が概ね1オーダー透気係数が小さくなる。さらに、図-15に示すように、高撥水性シール工法の方が表面の吸水速度が小さくなる。高撥水性シール工法を適用し、水分の逸散を防止する養生を行うことで、表層部の組織を緻密化し、物質遮断性を向上できる。さらに、高撥水性シール工法は機構が比較的単純であるため実施工においても安定した性能が発揮でき、実構造物における品質の均質性向上にも資すると考えられる。

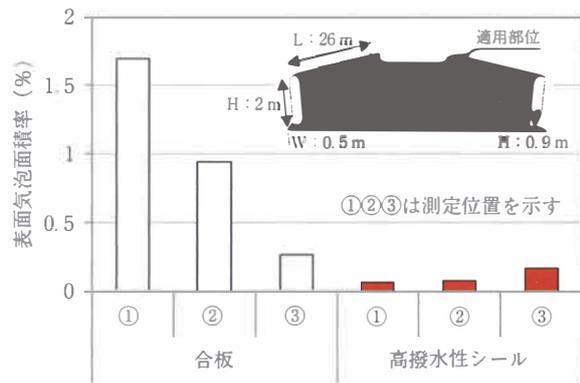


図-13 高撥水性シール工法の表面気泡減少効果



写真-4 橋梁フーチングへの適用状況

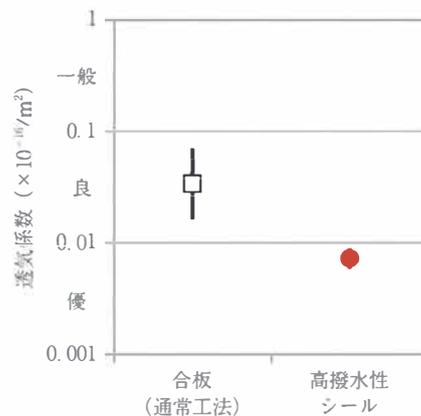


図-14 表層透気試験の結果

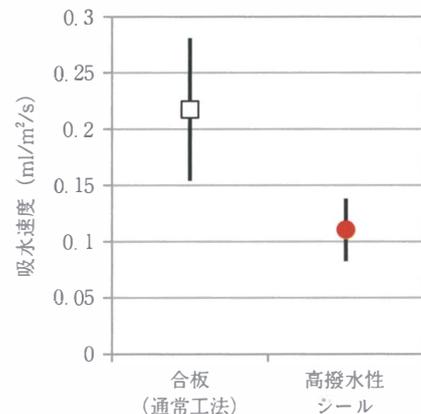


図-15 表面吸水試験の結果

6. おわりに

コンクリートの水分逸散抑制養生を長期間に亘って合理的に実施可能な高撥水性シール工法を開発した。シート撥水性と水分逸散の抑制効果によりコンクリートの表層が緻密化し、中性化速度や塩分浸透量が低減することを述べた。また、実構造物においても表層透気係数や表面吸水速度が低減し、表層品質を向上するのみならず、品質を均質化できることを示した。本工法の適用がコンクリート構造物の高品質化に寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 例えば、坂田 昇・渡邊賢三・細田 暁：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法、コンクリート工学, Vol.50, No.7, pp.601~606, 2012
- 2) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会成果報告書、コンクリートライブラリー 80, 2008
- 3) 石田哲也・坂田 昇・渡邊賢三・温品達也：品質向上へ「美シール®工法」を開発、コンクリートテクノ, Vol.33, No.12, pp.1~7, 2014
- 4) 坂井吾郎・渡邊賢三・藤岡彩永佳・温品達也・坂田 昇・石田哲也：コンクリート表層の耐久性を向上する『美シール工法』、セメント・コンクリート, No.827, pp.52~55, 2016
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】、2012
- 6) 細井雄介・石田哲也・温品達也：熱可塑性樹脂シート養生による

- 型枠近傍のブリーディング抑制機構、土木学会第70回年次学術講演概要集, pp.557~558, 2015
- 7) 渡邊賢三・温品達也・藤岡彩永佳・坂田 昇・石田哲也：特殊シートを用いたコンクリートの表層品質向上技術、土木施工, Vol.57, No.1, pp.109~112, 2016
 - 8) 渡邊賢三・温品達也・坂井吾郎・坂田 昇・栗山圭一・石田哲也：熱可塑性樹脂シートによる型枠取外し直後の水分逸散防止の効果、土木学会第70回年次学術講演集, pp.577~578, 2015
 - 9) 石田哲也・坂田 昇・渡邊賢三・温品達也・矢野英伸：熱可塑性樹脂シート養生によるコンクリートの表面改質、土木学会第69回年次学術講演集, pp.117~118, 2014
 - 10) 温品達也・渡邊賢三・坂井吾郎・石田哲也：種々の結合材を用いたコンクリートに対する長期特殊シート養生の効果、コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.747~752, 2016
 - 11) 高橋佑弥・小柳翔平・石田哲也・渡邊賢三：混和材種類と複数の養生方法を組み合わせたモルタル供試体の塩分浸透暴露試験、土木学会第70回年次学術講演概要集, pp.121~122, 2015
 - 12) 下村 匠・前川宏一：微視的機構に基づくコンクリート乾燥収縮モデル、土木学会論文集, No.520, V-28, pp.35~45, 1995
 - 13) 池松建治・温品達也・坂井吾郎・谷岡博文・石田哲也：熱可塑性樹脂シートを用いた養生が乾燥収縮と水分逸散量に与える影響、土木学会第69回年次学術講演集, pp.119~120, 2014
 - 14) 渡邊賢三・村田和也・坂田 昇・前園仁司・石田哲也・中化晶悟・前川陽平・松村紘明：熱可塑性樹脂シートによる表面品質向上手法の実構造物への適用、土木学会第69回年次学術講演概要集, pp.135~136, 2014
 - 15) 村田和也・渡邊賢三・温品達也・藤岡彩永佳・坂井吾郎・戸張正利・岡本裕昭・坂田 昇・渋谷能成・石田哲也：熱可塑性樹脂シートを用いた養生による橋梁フーチングの品質向上、土木学会第70回年次学術講演概要集, pp.575~576, 2015

《図書案内》

コンクリート診断技術'16

20世紀は、“開発と建設の時代”であった。これに対し21世紀は、“持続可能な発展”が要求される時代となっている。一方、コンクリートは社会基盤を構成する重要な材料であり、我が国において戦後約60年間にストックされたコンクリート量は、およそ100億 m^3 と推定されている。21世紀は、大量にストックされたコンクリート構造物を、可能な限り延命させて有効に活用することが求められており、そのためのコア技術が、コンクリートの診断技術である。

本書は、我が国においてこれまで蓄積されてきた、コンクリートの診断、補修・補強技術の集大成であり、この分野における最初の本格的な出版物として2001年に発刊され、以後毎年、最新の知見をもとに加筆・修正を重ねているものである。

【基礎編】

- 1章 はじめに
- 2章 対象
- 3章 調査手法
- 4章 予測・評価方法・判定基準
- 5章 対策・補修・補強工法
- 6章 おわりに

【応用編】

- 1章 はじめに
- 2章 診断の目的
- 3章 構造物における調査項目
- 4章 例題
- 5章 技術・基準類の変遷
- 6章 おわりに

B5判・基礎編(330ページ)、応用編(237ページ)(2016年刊行)／定価16200円(税込)／送料510円

●申込先：公益社団法人 日本コンクリート工学会「書籍販売」係

〒102-0083 東京都千代田区麹町1-7 相互半蔵門ビル12階／電話(03)3263-1573