

論文 浸透性吸水防止材を塗布したコンクリートのスケーリング特性

遠藤 裕丈*1・田口 史雄*2・林 大介*3・坂田 昇*4

要旨：浸透性吸水防止材を塗布し、構造物の表面を改質する工法は、新設、既設を問わずに施工ができることから、本工法の凍結融解と塩水の複合作用に起因するスケーリング劣化の抑制効果について室内実験による基礎的な検討を行った。その結果、塗布によってスケーリングを抑制することは可能であり、効果の持続期間は、塗布前のコンクリート面の損傷度および浸透深さの影響を受けることが明らかとなった。

キーワード：コンクリート、凍結防止剤、凍結融解、スケーリング、浸透性吸水防止材

1. はじめに

これまでは建設が主体であった公共事業も、コンクリート構造物を永く使いこなす維持補修へと重点がシフトしようとしている。このような状況下において、これまで蓄積された約85億 m^3 とも推定される¹⁾コンクリート構造物の耐久性向上を図る手法の一つに、表面に保護材を塗布して表面を改質する工法があり、比較的簡易な対策であるため、近年、この技術に対するニーズが高まりつつある²⁾。

北海道など寒冷地のコンクリート構造物に観察される特徴的な劣化現象の一つに、海水や凍結防止剤などの塩水と凍結融解との複合作用によって表面が剥げ落ちるスケーリングがある。この劣化は凍害の一種で、構造物の美観損失に加え、かぶりコンクリートの品質低下およびこれに起因する塩化物イオンによる化学的腐食や塩害など2次被害の危険性を高めるといった影響が懸念される。スケーリングは表面から侵食が進行する劣化であることから、表面品質の確保は重要である。

本研究では、浸透性吸水防止材を塗布し、表面を改質したコンクリートのスケーリング抵抗性について検討した。この工法は新設・既設を問わずに施工できるが、既設構造物の場

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (ml/m ³)	
		W	C	S	G	AE減水	空気連行
50	44	140	280	859	1085	700	17.5
60	46	139	232	919	1070	580	17.5

合、過去に受けた劣化作用により、表面が何らかの損傷を受けている場合もある。このため、既設への適応を想定した基礎実験として、凍結融解作用を受けたコンクリートに浸透性吸水防止材を塗布し、再び凍結融解作用を与えた際の劣化挙動に関する検討も行った。

2. 概要

2.1 配合・材料

表-1に試験に供したコンクリートの配合を示す。水セメント比(W/Cと記す)は50%と60%とした。セメントはスケーリングに劣るとされる高炉B種、骨材は苫小牧樽前産の海砂(密度2.70g/cm³)と小樽見晴産の砕石(密度2.67g/cm³)を用いた。コンクリートのスランプは8±2.5cm、空気量は4.5±1.0%を目標とした。

2.2 浸透性吸水防止材

浸透性吸水防止材は、シラン・シロキサン系のものを用いた。これは、浸透性が高く、揮発しやすいシラン分子と、揮発しにくいシロ

*1 独立行政法人 北海道開発土木研究所 材料研究室 研究員 (正会員)

*2 独立行政法人 北海道開発土木研究所 材料研究室 室長 (正会員)

*3 鹿島技術研究所 材料・LCEグループ 研究員 (正会員)

*4 鹿島技術研究所 材料・LCEグループ チーフ兼上席研究員 工博 (正会員)

キサン分子を組み合わせたもので、粘性が高く、液ダレが生じにくい特徴を有する³⁾。細孔充填作用はないが、撥水効果が得られる。

2.3 供試体・塗布

供試体は22×22×10cmの角柱(打設面は22×22cm面)とφ10×20cmの円柱の2種類作製した。浸透性吸水防止材は、22×22×10cmは打設面、φ10×20cmは全面(写真-1)に塗布した。

2.4 養生

養生は図-1に示すように、材齢91日まで気中安置させる条件(S07-Z91)と湿気養生をする条件(S91-Z91)の2ケースとした。後者は、飽水度の高いコンクリートへの塗布効果の検討が目的だが、塗布は表面が乾いた状態で行う必要があるため、S91-Z91は塗布前後の1週間だけ乾燥を与え、塗布1週間後から材齢91日まで塗布面を湛水させることとした。塗布は材齢14日に行った。塗布量は200g/m²とした。

2.5 飽水度

材齢91日に到達した22×22×10cm供試体の打設面から深さ0~1cm層をコンクリートカッターで採取し、細孔量とペーストに含まれる水分量を求め、(1)式⁴⁾より飽水度を算出した。

$$S_n = \frac{V_w}{V_t} \times 100 = \frac{\left(\frac{P_w}{\rho_w} \right)}{V \times P_d} \times 100 \quad \dots(1)$$

ここに、S_nは飽水度(%), V_wは細孔に含まれる水の体積, V_tは総細孔量, P_wはペーストに含まれる水の質量, ρ_wは水の密度, Vはペースト1gあたりの細孔量, P_dはペーストの絶乾質量を示す。細孔量は水銀圧入法で求めた。

2.6 圧縮強度・静弾性係数

JIS-A-1108に準拠し圧縮強度(φ10×20cm)および静弾性係数の測定を行った。試験は、材齢7, 28, 91日に行った。供試体は試験材齢に到達するまで、図-1と同じ環境下に置いた。

2.7 凍結融解試験(スケーリング試験)

(1) 新設構造物を想定した実験

凍結融解試験は、コンクリートの全面に凍結融解を与えて弾性係数の低下挙動を調べる



写真-1 浸透性吸水防止剤の塗布(φ10×20cm)

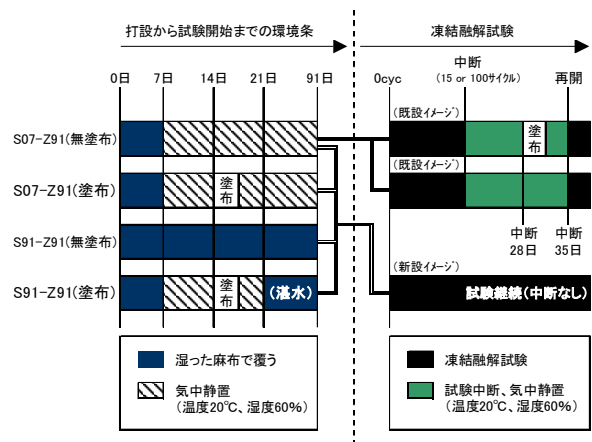


図-1 養生方法および凍結融解試験方法

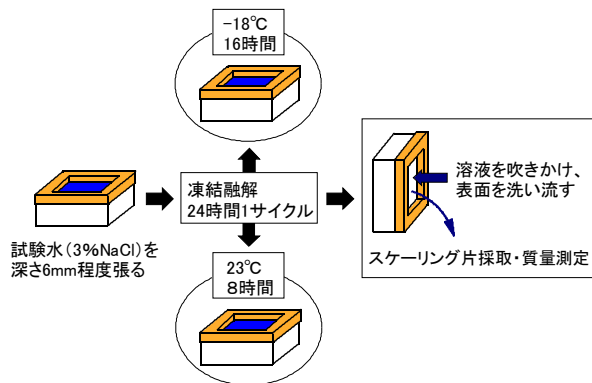


図-2 凍結融解(スケーリング)試験方法

ASTM-C-666に準拠するケースが一般的だが、本論ではコンクリートの1面に凍結融解を与えてスケーリングの発生挙動を調べるASTM-C-672に準拠した。図-2に示すように、22×22×10cm供試体の打設面に3%濃度の塩化ナトリウム水溶液を深さ6mm程度張り、-18°Cで16時間、23°Cで8時間、計24時間1サイクルの凍結融解作用を与えてスケーリング量を測定した。

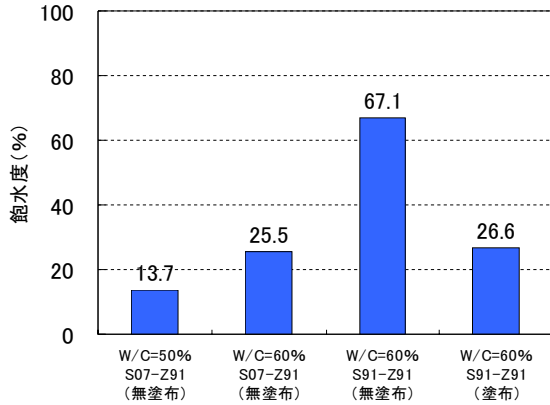


図-3 打設面(深さ0~1cm層)の飽水度

(2) 既設構造物を想定した実験

W/C=50%のS07-Z91(無塗布)を使用し、図-1(右)に示すように、凍結融解試験を15もしくは100サイクルで一時中断し、気中に28日間曝した供試体を模擬的な既設構造物のコンクリートに見立て、これに浸透性吸水防止材を塗布して1週間後に試験を再開し、劣化挙動を調べた。塗布量は、15サイクル中断のケースは0(無塗布)、200g/m²、100サイクル中断のケースは0、200、400、600g/m²とした。

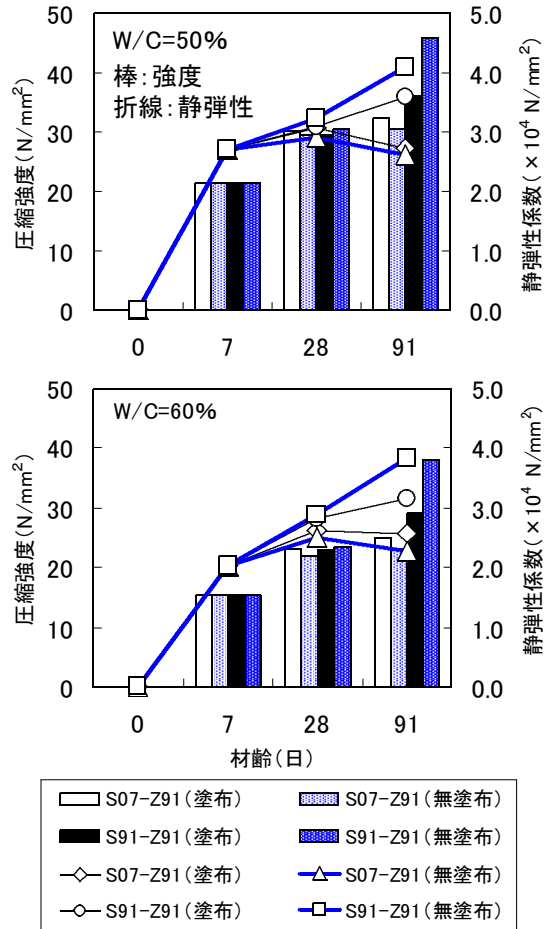


図-4 圧縮強度および静弾性係数

3. 結果・考察

3.1 飽水度

図-3に飽水度を示す。湿気養生を継続したS91-Z91(W/C=60%)に着目すると、無塗布は67.1%まで飽水度が上昇したのに対し、浸透性吸水防止材を塗布したものは26.6%と、気中放置したS07-Z91と殆ど差がなかった。このことから、静置環境下では浸透性吸水防止材を塗布することで、飽水度の上昇を抑える効果が得られることがわかった。

3.2 圧縮強度・静弾性係数

図-4に圧縮強度および静弾性係数を示す。湿気養生を継続したS91-Z91は、無塗布の方が強度・静弾性係数とも大きくなる傾向を示した。図-3に示した飽水度の結果から考察すると、これは水和促進の差に起因しているものと考えられる。

一方、気中に静置したS07-Z91は、塗布を

施した方が微増傾向にあった。これは、塗布材によって気中への水分逸散が抑えられたことで、強度・静弾性係数の増進に僅かながらプラスの効果をもたらされたものと思われる。

殆どの構造物は養生後、気中に曝されることを考えるとS07-Z91の方が現実的と言えるが、塗布した供試体は飽水度が上昇しにくい特性を有する(図-3)ことから、乾燥収縮の影響を受けやすくなることも予想される。このため、乾湿の影響についても今後検討していきたいと考えている。

3.3 凍結融解試験(スケーリング試験)

3.3.1 新設構造物を想定した実験

図-5に結果を示す。まず無塗布に着目すると、S07-Z91ではW/Cの大きい方がスケーリング量は多かった。また、W/C=60%はS07-Z91より飽水度が高いS91-Z91でスケーリングが多く生じた。この原因は、蓄積された水分

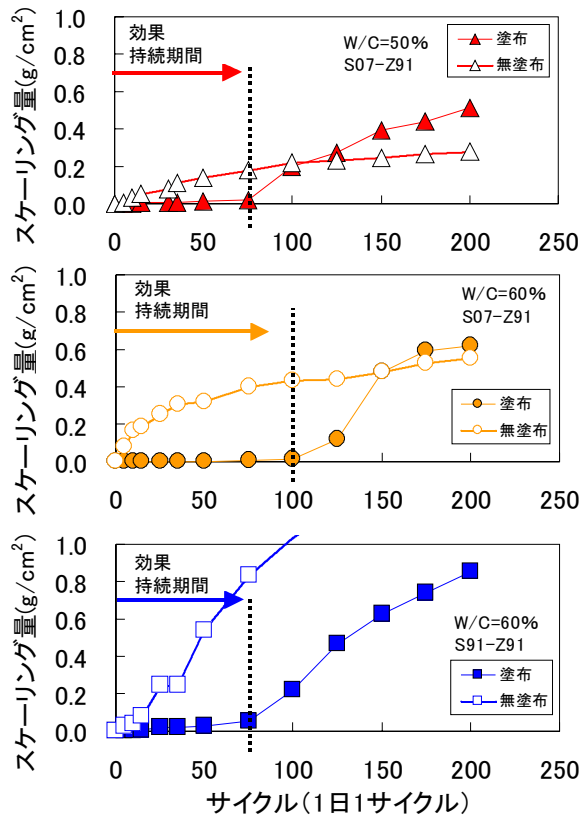


図-5 新設を想定した凍結融解試験の結果
(塗布は試験前に実施)

が過大な水圧を発生したためと考えられる⁵⁾。

一方、浸透性吸水防水材を試験前に塗布したケースは、75~100サイクルまではスケーリング量が極めて少なく、一定の抑制効果は認められた。しかしその直後、表面が広範に剥離し、スケーリング量が増加した。

本試験のサイクル数と実環境との対比に関しては不明であるが、無塗布の供試体は数サイクルでスケーリングが生じており、一般に実施されるASTM-C-666のA法よりも厳しい条件である可能性が高い。このことから、精度の高い検討を進めていくには、今後、暴露試験を通して本試験と実環境との対応を明確にしていく必要がある。

(1) 浸透深さが劣化挙動に及ぼす影響

写真-2は浸透性吸水防水材の浸透深さ測定結果である。測定は、供試体の切断面に墨汁を含ませた水をかけて拭き取り、非着色の領域を浸透領域(撥水層と記す)とした。ここでは、任意で5箇所選んで測定した値の平均を表

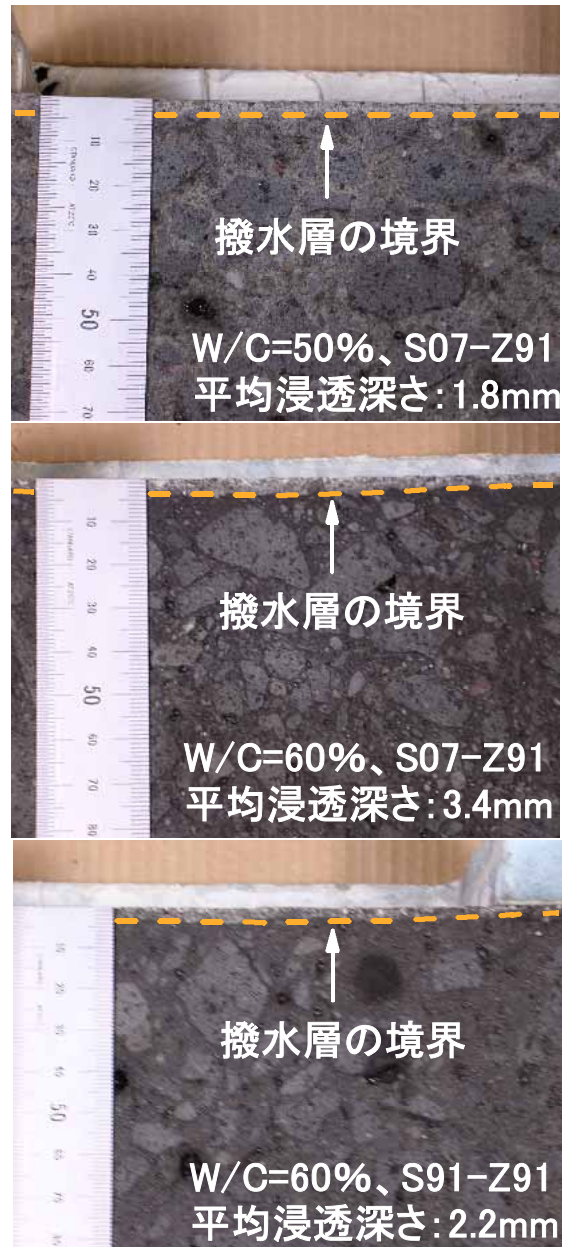


写真-2 浸透性吸水防止材の浸透深さ測定(1)

表-2 撥水層が剥離した時のスケーリング量計算値

水セメント比(%)		50	60		
養生条件		S07-Z91		S91-Z91	
①	浸透性吸水防止材の浸透深さ	mm	1.8	3.4	2.2
②	撥水層の体積	cm ³	52.02	98.26	63.58
③	撥水層の質量 (浸透材の質量は無視)	g	122.98	231.89	150.05
④	撥水層が剥離した場合のスケーリング量	g/cm ²	0.43	0.80	0.52

※浸透性吸水防止材は表面から面的均等に浸透しているものとする。

示した。平均浸透深さは1.8~3.4mmであった。

表-2は撥水層が全て剥離した場合のスケーリング量を試算したものだが、図-5からW/C=50%のS07-Z91とW/C=60%のS91-Z91は計算値を上回る量のスケーリングが生じているこ

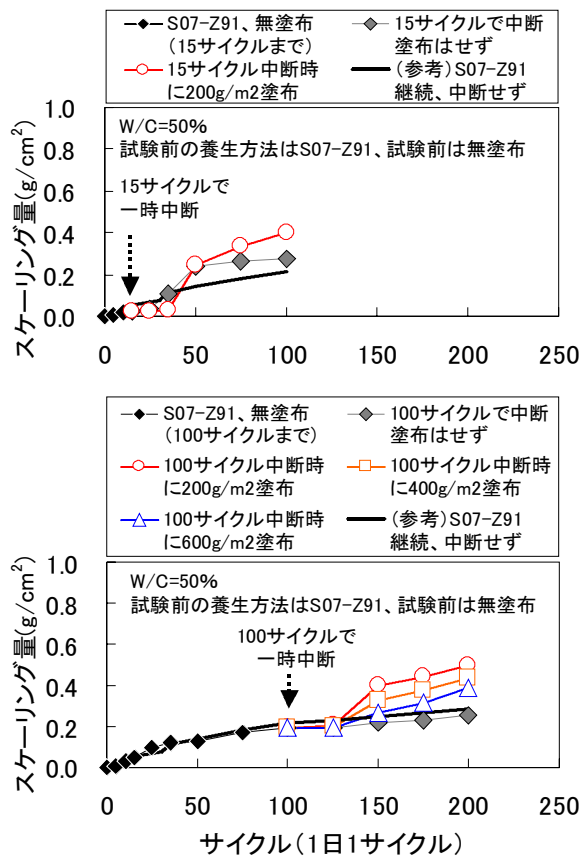


図-6 既設を想定した凍結融解試験の結果
(塗布は中断時に実施)

とがわかる。このことから、撥水層はスケーリングではほぼ損失したと推定される。75～100サイクル以降のスケーリング挙動については、欠陥部から浸透した試験水が撥水層の“背面”へ入り込み、飽和状態を迎えた背面が過大な凍結水圧を発生し、撥水層を押し出したメカニズムの存在が推定される。

今回の様に、浸透深さが1.8～3.4mmとごく表面の改質が図られた場合、静置環境下では飽水度の上昇抑制すなわち透水量の低減効果は認められるものの、塩水と凍結融解の複合作用を受ける環境下では一定期間経過後にスケーリングが生ずる可能性があることがわかった。S07-Z91の結果に着目すると、W/C=60%より50%の方が早いサイクルでスケーリングが始まっている。これは、60%の方が浸透深さが深いことに起因すると思われる、浸透性吸水防止材を効果的なものとするには、塗布材を深く浸透させることが必要と思われる。

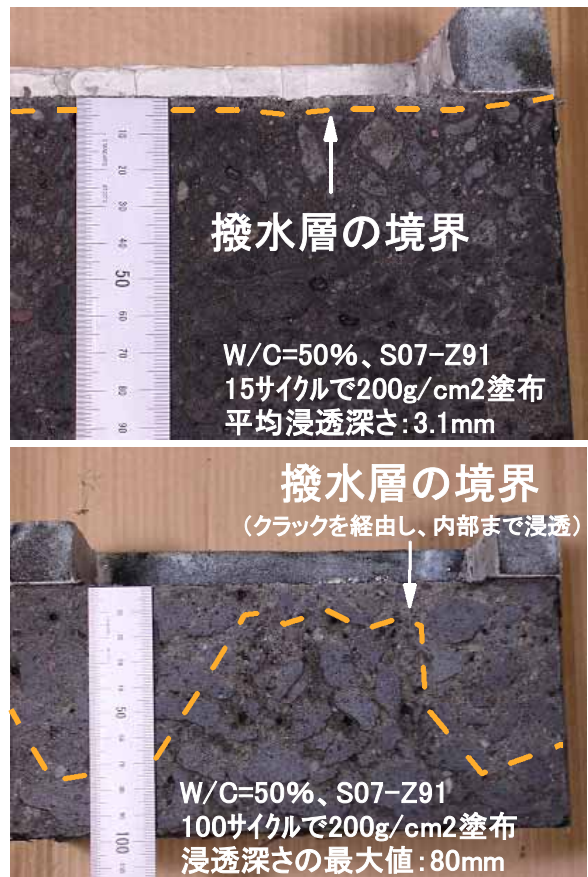


写真-3 浸透性吸水防止材の浸透深さ測定(2)

3.3.2 既設構造物を想定した実験

ここでは、塗布を施していないW/C=50%のS07-Z91の凍結融解試験を任意のサイクルで一時的に中断し、中断させた供試体を模擬的な既設構造物に見立て、これに塗布を施し、試験再開後のスケーリング発生挙動を調べた。図-6に15サイクルおよび100サイクルで中断させた場合の結果を示す。

15サイクルで中断させた場合、中断時に塗布を施すと、再開後35サイクルまではスケーリングは殆ど発生せず、塗布の効果が認められたものの、35サイクル経過後にスケーリングの発生がみられ、前項の実験と同様の挙動を示した。

100サイクルで中断させた場合、再開後125サイクルまでスケーリングの発生はみられなかったが、この場合は無塗布の供試体でもスケーリングが生じていないため、塗布の効果によるものかは明確ではない。この場合も一連の実験結果同様、125サイクル以降に塗布し

た供試体でスケーリングが生じる結果となった。スケーリング量は塗布量に対応したが、これに関しては凍結融解試験を継続し、引き続き劣化挙動を観察することとしたい。また、塗布量に塗布効果の持続期間を延ばす効力は、この場合みられなかった。

写真-3は浸透深さの測定結果、**図-7**は塗布時のサイクル数とスケーリング量、スケーリング抑制効果の持続期間、浸透深さの3者の関係である。なお、100サイクルの撥水層は不均一で、平均値をとる意義は低いと判断し、ここでは最大値で表示することとした。塗布材の浸透深さは、事前に受けた凍結融解の回数ならびにスケーリング量が多いほど大きくなる傾向を示した。これは、凍結融解作用でコンクリート組織に発生したクラックに沿って浸透材が内部へ浸透したためと思われる。対照的に、塗布後のスケーリング抑制持続期間は、凍結融解回数およびスケーリング量が多いほど、短くなる傾向を示した。塗布材の浸透深さと効果の持続期間は一見対応していないように見えるが、本研究で用いた塗布材は、撥水作用は与えるものの、細孔を充填させる能力までは有していないことから、凍結融解で生じたクラック等のマイナス要因が結果に影響を及ぼしたのではないかと考える。

このことから、撥水効果のみをコンクリートに付与する塗布材を施工した場合のスケーリング抑制効果の持続期間は、浸透深さに加え、コンクリート組織の損傷状況にも支配されると言え、塗布前のコンクリート表面の品質を適切に評価した上で、適用の可否を判断することが望ましいと言える。この判別手法の検討に関しては、今後の課題としたい。

4. まとめ

本実験で得た主な成果を以下に列記する。

- (1) 静置環境下では、表面に塗布を施すことで、飽水度の上昇が抑えられる。
- (2) 本実験の範囲では、塗布したコンクリートの圧縮強度と静弾性係数は、湿気環境下で

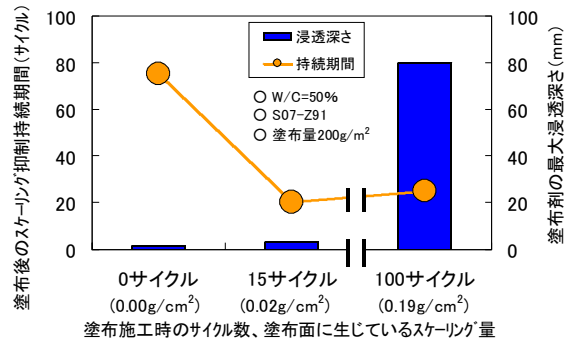


図-7 最大浸透深さと効果持続期間の関係

は無塗布に比べるとやや劣るが、気中に静置した場合は微増傾向にあった。

- (3) 劣化を受けていないコンクリートに塗布を施すと、凍結融解試験開始からある一定の期間まではスケーリングの抑制効果が認められた。実験で得られたサイクル数が実環境とどう対比しているかは不明だが、今後暴露実験等を通し、検証する必要がある。
- (4) 撥水効果のみを付与する塗布材を施工した場合のスケーリング抑制効果は、浸透深さと組織の損傷状況の両者に支配される。塗布前の表面品質を適切に評価し、適用可否を判断することが望ましいが、判別手法の検討に関しては、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) コンクリート診断技術'02, 日本コンクリート工学協会
- 2) 例えば, コンクリート工学, Vol.41, No.9, 日本コンクリート工学協会, 2003.9
- 3) 林大介, 坂田昇, 三村俊幸, 神沢弘: シラン・シロキサン系撥水材の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, 2000.6
- 4) RILEM tentative methods. The critical degree of saturation method of assessing the freeze-thaw resistance of concrete, p.217, MATERIALS AND STRUCTURE, Vol.10, No.58, 1977
- 5) 遠藤裕丈, 田口史雄, 嶋田久俊: 養生と乾燥日数が異なるコンクリートの凍害と塩害の複合劣化特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No.1, pp.741-746, 2002.6