

コンクリート表層の品質改善対策の効果 —表面気泡とブリーディング上昇跡の抑制—

(国研)土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○長谷川 謙
(国研)土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 吉田 行

コンクリートの劣化因子はコンクリート表面から侵入するため、表層品質の向上が極めて重要となる。本研究では、コンクリート表層の品質改善対策として、表面気泡を抑制する器具や透水型枠シートの効果について検討を行った。その結果、コンクリート表面の出来映えの改善効果とコンクリート表層の透気性や吸水性が低下を確認し、特に透水シートはスケーリング抵抗性が向上することを確認した。

キーワード：表層品質、初期欠陥、耐久性、コンクリート構造物

1 はじめに

現在、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物は建設後50年以上経過し老朽化が進行している。そのため、劣化した部分を補修し使い続けるストック型の維持管理が重要となる。しかし、道路橋だけに着目しても2030年には約73万橋あるうちの54%が建設後50年を経過¹⁾し、維持管理費の増大が見込まれている。このため、維持管理費軽減の観点から、従来の事後保全型維持管理よりも費用縮減が可能となる予防保全型維持管理への転換が図られている。

コンクリート構造物の更新あるいは新設にあたり、建設時にコンクリートの品質を確保・向上することが耐久性確保の観点から重要であり、設計段階で照査した性能を満足するように、現場条件や気象条件等を考慮して確実な施工が実現できるように施工計画を策定し、適切に管理しながら施工する必要がある。特に、コンクリートの劣化因子はコンクリート表面から侵入するため、表層品質の向上は極めて重要である。

国土交通省では、平成29年度からコンクリートの初期欠陥の抑制と表層品質向上を目指す試行工事（以下、試行工事と記述）を全国各地で実施している。橋梁下部工を対象とした試行工事では、施工状況把握チェックシート¹⁾を用いて施工が適切に行われているかを確認し、併せて、型枠脱型後のコンクリート表層の不具合を簡易に把握するために、沈みひび割れ、表面気泡、打重ね状況、型枠継ぎ目のノロ漏れ、砂すじの5項目を対象として、それらの状況を目視で点数づける表層目視評価²⁾を行い、改善すべき点があれば次のリフトで施工時に対策を講じて改善する取組みが行われている。他方、施工時の工夫や品質向上対策は現場毎に実施されており、効率的に品質向上を図るには各不具合に応じた対策の整理が必要である。また、表層目視の評価対象である5項目の不

具合は、コンクリートの劣化を助長すると考えられるが、構造物の耐久性にどの程度影響するかについては必ずしも明らかになっていない。加えて、目視による表層品質の評価は定性的であり、評価者の経験等により評価点が異なる可能性があることから、品質向上対策等の効果を把握するには原位置における簡易で定量的な品質評価手法の確立が必要である。

以上の背景から、著者らは、新設・更新時のコンクリート構造物の施工時における品質向上対策および表層品質評価手法の確立を目的に、初期欠陥を模擬した供試体のスケーリング抵抗性や表層品質に与える影響と、表層品質評価法として表層透気試験や表面吸水試験の適用性について検討を行ってきた^{3, 4)}。

本研究では、表層品質を向上するための具体的な対策として、表面気泡抜取り器具や透水型枠シート（以下、透水シートと記述）による方法を選定し、それらによるコンクリート表層の品質向上効果を検証した。

2 実験方法

2.1 コンクリート表層の品質向上対策

コンクリート表層の品質向上対策として、図-1に示すコンクリート表面気泡抜取り器具による方法と、図-2に示す透水シートによる方法を選定した。本研究で用いた表面気泡抜取り器具は、先端部にφ3.5mmのピアノ線が12本配置されており、コンクリート打込み時に上下に動かしながら型枠とコンクリートの間に差込み、型枠表面に沿って上下に動かしながら引き上げることでコンクリートの表面気泡を抜取るものである。

図-2の透水シートは、透水層と排水層が積層した一体型のシート（材質：PET樹脂）を選定した。型枠表面（コンクリート打込み面側）に排水層面を裏にしてシートを取り付けることで、コンクリートに生じるブリーデ

イング水を型枠外に排出し、それによりコンクリート表層の品質を高めるものである。

2.2 供試体の作製方法

供試体は、既報^{3, 4)}と同様に、内寸幅600×高さ600×厚さ100mmの型枠と、内寸幅200×高さ300×厚さ100mmの型枠を用いて壁供試体と小型供試体の2種類作製した。気泡抜取り器具や透水シートの効果を明確にするため、コンクリート表面に気泡やブリーディング水の上昇跡が生じやすくなるように、型枠を45度傾けてコンクリートを打ち込んだ。なお、後述するように供試体表面に想定以上の気泡とブリーディング水の上昇跡が生じたため、少し緩和した垂直面から30度傾けたケースも追加した。

壁供試体は2層に分け、小型供試体は1層で打込み、各層で突き棒およびバイプレータによる締固め（壁供試体の2層目打込み時には1層目に100mmラップするよう締固めを実施）を行った後、プラスティックハンマーで型枠外面を均等に叩き、最後に金ゴテで打込み面を平滑に仕上げる工程を標準とした。

気泡抜取り器具は、45度傾けた壁供試体のケースでは、標準工程でコンクリート打込み後、カタログに参考として示されていた最短時間の15分を経過してから使用し、上側の型枠面に沿って気泡抜取り器具を上下に動かしながら底板まで差込み、上下に動かしながらゆっくりと引き上げ、最後に打込み面をコテ仕上げした。なお、壁供試体は幅が広いため、3回に分けて実施した。一方、後述するように先行実施した45度傾けたケースでは、気泡抜取り器具を用いた場合でもブリーディング水の上昇跡が明確に残存し、型枠の傾きだけでなく気泡抜取り器具を使用した時期も早すぎたことが考えられたため、30度傾けたケースでは、コンクリートを打ち終えてから40分経過後（コンクリート練上がり後60分経過後）に打込み面のブリーディング水を除去し、同様の手順で気泡抜取り器具を使用して仕上げた。

コンクリート打込み後は、打込み面からの乾燥を防ぐためにシートで覆い、国土交通省の道路・河川工事仕様書に示されている湿潤養生期間の標準を参考として、温度20°C、相対湿度60%に設定した実験室内に型枠のまま静置し、材齢5日で脱型して垂直に立てた状態で実験室内に存置した。

2.3 試験ケースとコンクリートの配合

試験ケースとコンクリートの配合を表-1に示す。セメントは、普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）を用い、水セメント比は55%とした。細骨材は苦小牧市樽前産の陸砂（密度2.71g/cm³、吸水率0.77%）を、粗骨材は小樽市見晴産の碎石（密度2.68g/cm³、吸水率1.71%）を用いた。コンクリートの目標スランプは12.0±2.5cm、目標空気量は4.5±1.0%に設定した。表-1には実測のスランプと空気量を示している。



図-1 気泡抜取り器具



図-2 透水型枠シート

表-1 試験ケースとコンクリートの配合

型枠 傾斜 角度	対策方法	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)
				C	W	S	G	AE 減水剤	AE 助剤		
45度	標準	55	45	282	155	867	1048	0.564	0.00705	11.0	4.8
	気泡抜取									11.7	4.6
	透水シート									11.5	4.8
	標準									12.7	4.2
30度	標準									12.1	4.2
	気泡抜取										



(a) 壁供試体(中段)

(b) 小型供試体

写真-1 透気係数測定状況の一例

2.4 コンクリート表層の品質評価方法

コンクリート表層の品質を評価するために、目視による表面状態の観察と、非破壊試験である表層透気試験および表面吸水試験を実施した。

表層透気試験は、日本非破壊検査協会「コンクリートの非破壊試験－表層透気試験方法－第2部：ダブルチャンバー法（NDIS 3436-2）」で規定されている試験方法（トレント法）により行い、透気係数で評価した。写真-1に測定状況の一例を示す。測定位置は、小型供試体は供試体中央で、壁供試体は、高さを3分割して上、中、下に分け各ブロックの中央としたが、表面状態により空気漏れが生じた場合は適宜ずらし測定した。また、いずれの供試体も上側型枠面（不具合が生じた面）と下側型枠面で測定した。

表面吸水試験は、日本非破壊検査協会「コンクリートの非破壊試験－水分浸透抵抗性試験－第2部：表面吸水試験方法（NDIS 3440-2）」で規定されている試験方法（SWAT法⁵⁾）により行い、注水は10秒以内に完了させ、計測開始から600秒経過時の表面吸水速度(P_{600})で評価した。なお、表面吸水試験の取り付け治具が大きく、

小型供試体では測定できないため、壁供試体のみで測定した。壁供試体の測定位置は、図-3に示すように、測定治具の関係から供試体中央を上下左右に斜めに跨ぐ2箇所とした。

表層品質の評価は材齢91日に測定した値で行い、表面状態の違いによる相対評価に加え、各特性値の評価基準として提案されている表-2のグレーディング²⁾を参考にして評価した。

2.5 小型供試体によるスケーリング試験方法

供試体のスケーリング抵抗性評価は、ASTM C672に準じて行った。試験面は傾けた型枠の上側を試験面とし、図-4に示すように土手を設けて試験水(3%NaCl水溶液)を湛水して、-18°Cを16時間、23°Cを8時間の1日1サイクルで凍結融解作用を与えた。試験は2供試体で行った。なお、供試体の養生は2.2節で示したように、打込み面をシートで覆った状態で型枠のまま温度20°C、相対湿度60%に設定した実験室内に静置し、材齢5日で脱型後材齢28日まで同実験室内で気中養生して試験を開始した。なお、供試体を傾けて作製したことにより生じた斜め部分はコンクリートカッターで切削して、角柱供試体に加工した状態で試験を実施した。

3 コンクリート表層の品質評価

3.1 コンクリートの表面状態

図-5に45度傾斜で作製した壁供試体の上側型枠面と下側型枠面の表面状態を示す。上段に示した上側型枠面に着目すると、対策を施していない標準供試体の表面は、粗大な気泡が多数確認されるとともに、型枠面に沿ってブリーディング水が上昇した痕跡が明確に確認できた。これに対して、気泡抜取り器具を使用した供試体の表面は、微細な気泡は確認されるものの粗大な気泡は消失し



図-3 吸水量測定状況の一例

表-2 表層品質評価グレーディングの目安²⁾

評価指標	優	良	一般	劣	極劣
表層透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	10~100
表面吸水速度 P_{600} (ml/m ² /s)	-	0.0~0.25	0.25~0.50	0.50~	-

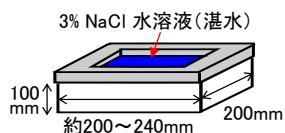


図-4 スケーリング試験の概要

ていた。しかし、ブリーディング水の上昇跡は明確に残存しており、型枠の傾斜角度が大きいこと、および気泡抜取り器具を使うタイミングが早すぎたことなどが影響したと考えられた。透水シートを使用した供試体の表面は、上部に多少の気泡が確認されたものの粗大な気泡やブリーディング水の上昇跡は確認されず大きく表層の品質が改善された。これは、透水シートによりブリーディング水が型枠外に排出された効果であり、同時に表面気泡も減少する効果が確認できた。一方、下段に示した下側型枠面は、どの供試体も表面気泡やブリーディング水の上昇跡が確認されず、極めて良好だった。

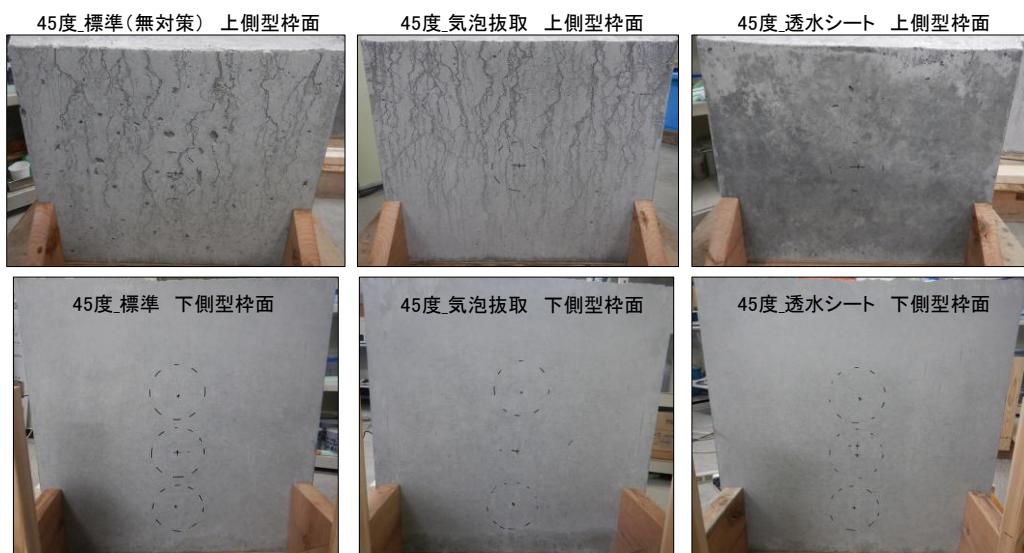


図-5 壁供試体(45度傾斜)の表面状態

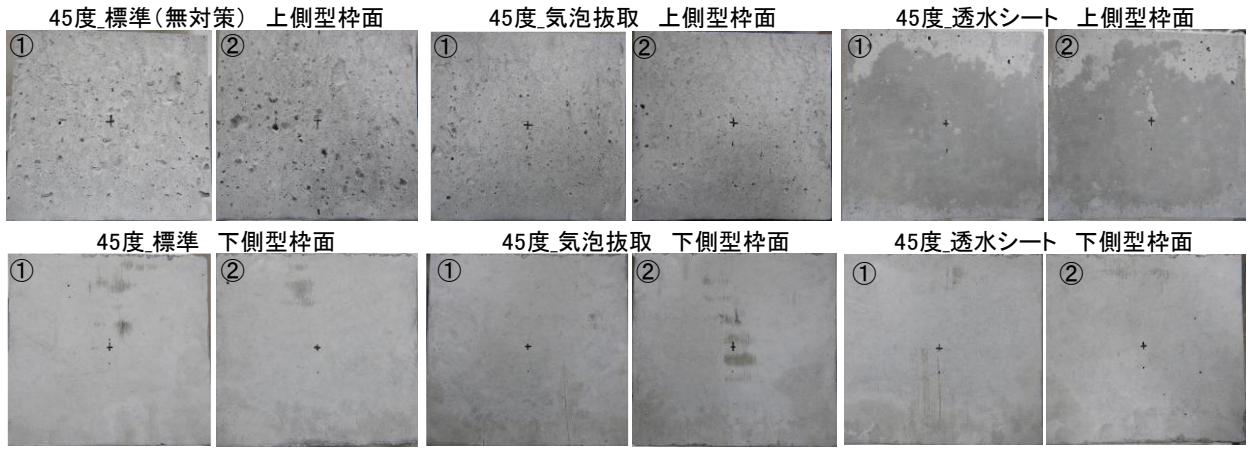


図-6 小型供試体（45度傾斜）の表面状態

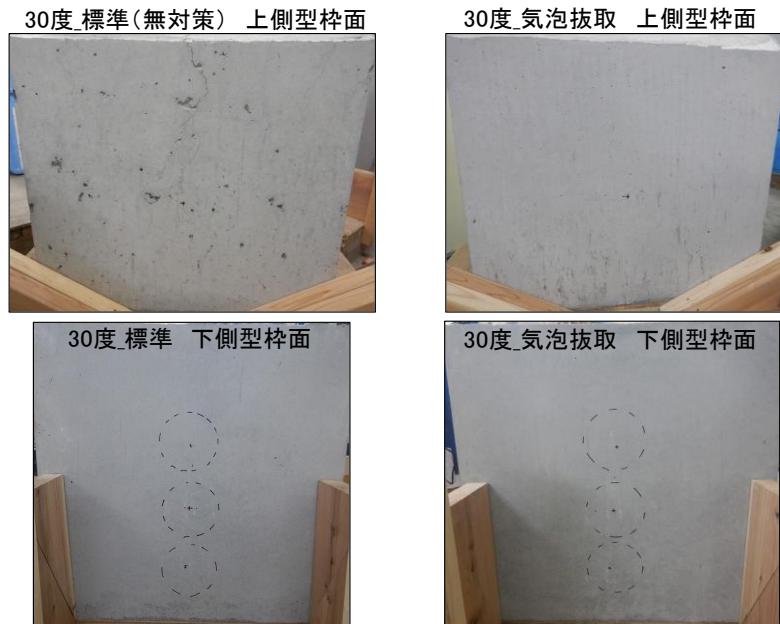


図-7 壁供試体（30度傾斜）の表面状態

図-6 に 45 度傾斜で作製した小型供試体の上側型枠面と下側型枠面の表面状態を示す。上段に示した上側型枠面に着目すると、供試体が小さいため壁供試体でみられた明確なブリーディング水の上昇跡は確認できないが、無対策の標準供試体表面には粗大な気泡が多数存在し、面的な凹凸が生じているのに対し、気泡抜取り器具を用いた供試体表面は気泡や面的な凹凸が減少して、表面気泡も小さくなっているのが確認できる。透水シートを用いた供試体表面は、上部に多少気泡が確認されるものの凹凸は無く、壁供試体と同様に表面状態が大きく改善されていることが確認できた。一方、下段に示した下側型枠面は、壁供試体と同様、どれも極めて良好だった。

図-7 に 30 度傾斜で作製した壁供試体の上側型枠面と下側型枠面の表面状態を示す。上側型枠面に着目すると、無対策の標準供試体表面は、粗大な気泡が点在し、供試体中央上部を主としてブリーディング水の上昇跡が確認できるが、45 度傾斜と比べると両者とも減少していた。このことから、型枠の傾斜角度が大きくなると、気泡や

ブリーディング水が型枠面に滞留し、表面気泡やブリーディング水の上昇跡が残存しやすくなることがわかる。対して、気泡抜取り器具を使用した供試体表面は、粗大な気泡やブリーディング水の上昇跡が確認されず、大きく改善された。上述のとおり、型枠の傾斜角が小さくなったこともあるが、コンクリート打込み後のブリーディングの発生状況に留意しながら、適切なタイミングで気泡抜取り器具を使うことで、より表面品質の改善に効果があると考えられる。一方、下側型枠面の供試体表面は、45 度傾斜供試体と同様、どれも極めて良好だった。

図-8 に 30 度傾斜の小型供試体の上側型枠面と下側型枠面の表面状態を示す。上段に示した上側型枠面に着目すると、壁供試体と同様に、無対策の標準供試体表面は、気泡が多く面的な凹凸も確認されたが、気泡抜取り器具を用いた供試体の表面は、粗大気泡や凹凸が無く改善された。一方、下側型枠面の供試体表面は、他のケースと同様、どれも良好だった。

以上から、表層品質の改善対策として用いた気泡抜取

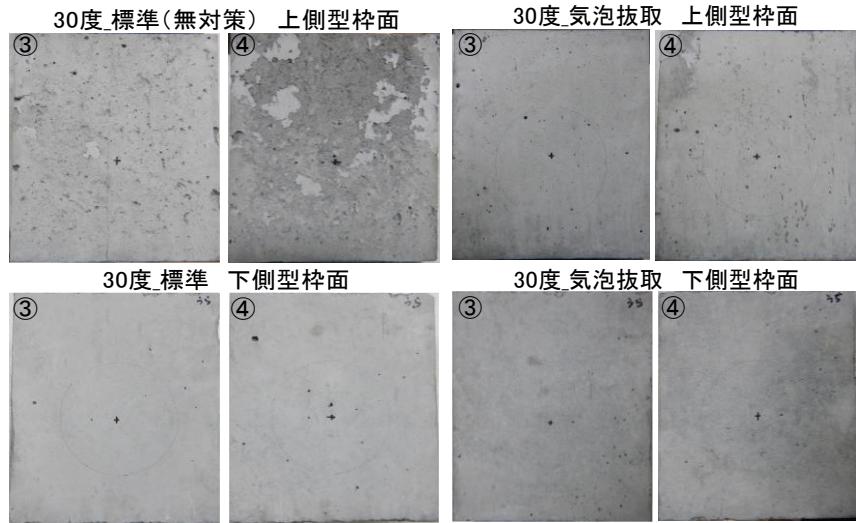


図-8 小型供試体 (30 度傾斜) の表面状態

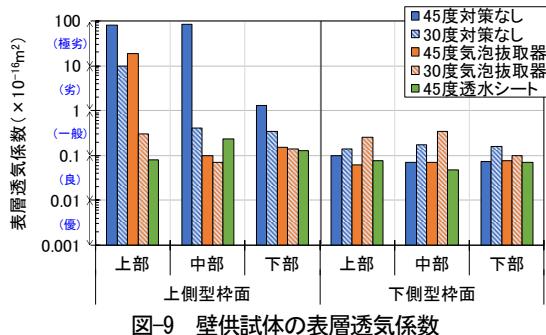


図-9 壁供試体の表層透気係数

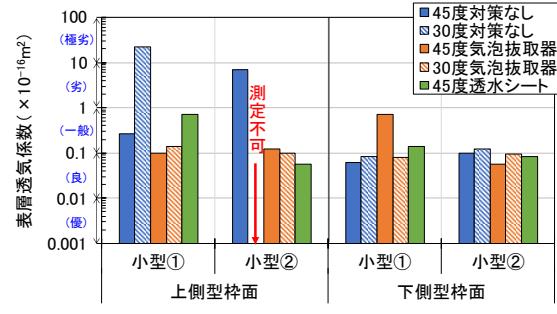


図-10 小型供試体の表層透気係数

り器具と透水シートの使用により、コンクリートの表面状態が大きく改善され、コンクリート表面の出来映え改善効果を確認した。

3.2 非破壊試験による表層品質の評価

3.2.1 コンクリート表層の透気性の評価

図-9 に壁供試体の表層透気係数を示す。横軸の上部、中部、下部は壁供試体の高さ方向の測定部位であり、縦軸には評価グレーディングの目安を表記した。

上側型枠面に着目すると、対策なしでは、45 度傾斜供試体の上部と中部の透気係数が極めて大きく「極劣」評価で、下部でも「劣」だった。また、30 度傾斜供試体の上部は「極劣」と「劣」の境界だったが、中部と下部は「一般」だった。気泡抜取り器具を用いた供試体は、45 度傾斜の上部で透気係数が大きく「極劣」だったが、他の部位や 30 度傾斜のいずれの部位でも、透気係数は「一般」から「良」だった。また、透水シートを用いた供試体は、いずれの部位でも透気係数は「一般」から「良」だった。一方、下側型枠面の透気係数はいずれも差が小さく、「一般」から「良」だった。

以上から、気泡抜取り器具や透水シートを用いた供試体は透気係数が小さく、これら対策による効果の一端が確認できた。なお、透気係数が大きくなった部位は、いずれもブリーディング水の上昇跡が明確だった箇所であ

り、表面気泡よりもブリーディングの方がコンクリートの表層品質に与える影響は大きいと考えられる。また、ブリーディングにより生じた品質差は表層透気試験で定量的に把握できることを確認した。

図-10 に小型供試体の表層透気係数を示す。対策なしでは、30 度傾斜の小型①や 45 度傾斜の小型②の透気係数が大きくなり「極劣」や「劣」評価だった。30 度傾斜の小型②で空気漏れにより上側型枠面の透気係数が測定できなかった。それ以外の供試体は、「一般」から「良」であることから、対策の効果は一定程度確認することができた。しかし、図-6 や図-8 に示したように、小型供試体では、表面状態に及ぼすブリーディング等の施工の影響を再現しにくいため、施工時に生じる不具合や品質の差を検証するには、供試体寸法も考慮して検討する必要がある。

3.2.2 コンクリート表面の吸水性の評価

図-11 に壁供試体の表面吸水速度を示す。図に示したとおり、水漏れが生じた箇所は参考値であるが、上側型枠面で水漏れが生じたのはブリーディング水の上昇跡が明確だった供試体であり、表面状態が良好な箇所では概ね吸水速度を測定することができた。なお、30 度傾斜対策なしの下側型枠面は、表面状態が良好だったが装置の吸着が弱く水漏れが生じた。対策は講じたものの型枠がはらみ、供試体が湾曲したことによると考えられたが

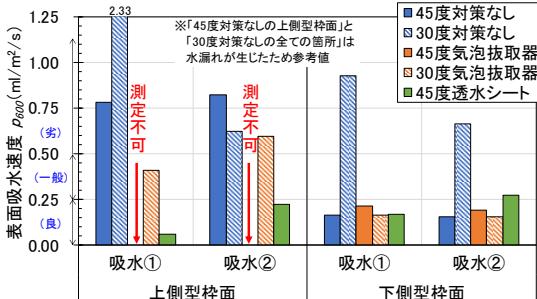


図-11 壁供試体の表面吸水速度

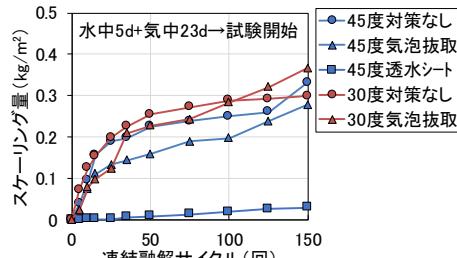


図-12 小型供試体のスケーリング試験結果

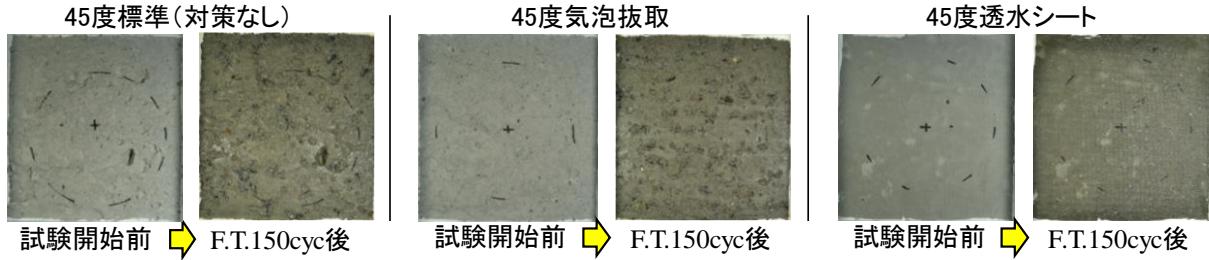


図-13 スケーリング試験開始前と凍結融解 150 サイクル後の表面状態の一例

原因は特定できなかった。

45 度傾斜透水シート供試体は、型枠面の上側と下側で差がなく、概ね「良」評価となり、透水シートによる品質向上効果が確認できた。一方、30 度傾斜気泡抜取り器具供試体は表面状態が改善されたものの、上側型枠面の表面吸水速度は「一般」から「劣」だった。透気係数は「一般」から「良」で評価が異なっており、水を媒質とする吸水試験と空気を媒質とする透気試験では検出できる品質が異なる可能性が考えられるため、各試験法の適用範囲について検討が必要である。

3.3 スケーリング抵抗性

図-12 に小型供試体のスケーリング試験結果を示す。スケーリング試験を実施した 2 供試体のばらつきが小さかったため、2 供試体の平均値で示している。

凍結融解 100 サイクル程度までは、気泡抜取り器具を使用した方が対策なし供試体よりわずかにスケーリング量は少ないが、凍結融解 150 サイクルでは両者の差はほとんどなかった。これに対して、透水シートを用いた供試体は、スケーリング量が明らかに少なく、透水シートによりブリーディング水が排出されたことでコンクリート表層の品質が向上したことによりスケーリング劣化が抑制されたと考えられる。

図-13 に 45 度傾斜供試体のスケーリング試験開始前と凍結融解 150 サイクル後の表面状態の一例を示す。凍結融解後の対策なしと気泡抜取り器具使用供試体の劣化程度に差はなく、全体に点々とスケーリングが生じて一部に粗骨材表面が見える程度であり、試験開始前に確認された粗大な気泡から劣化が進行している状況は確認できなかった。一方、透水シートを用いた供試体表面は、細骨材が一部現れる程度であり、スケーリング抵抗性が高

いことが実際の表面状態からも確認できた。

4.まとめ

本研究では、コンクリート表層の品質向上対策として気泡抜取り器具と透水シートの効果を検証し、どちらの方法でもコンクリート表面の出来映えを改善できることを確認した。また、透水シートの使用により、コンクリート表層の透気性や吸水性が低下し、スケーリング抵抗性が向上するため、品質向上対策として極めて有用なことを確認した。

参考文献

- 1) 国土交通省：“社会資本の現状と将来”. 国土交通省. https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html、(参照 2025-12-25)
- 2) 国土交通省東北地方整備局：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（橋脚、橋台、函渠、擁壁編）2023 年改訂版、pp.14-33、2023.3
- 3) 吉田行、山内稜、島多昭典：初期欠陥を模擬したコンクリート供試体の表層品質とスケーリング抵抗性、第 67 回（2023 年度）北海道開発技術研究発表会、安 -63（道）、2024.2
- 4) 吉田行、山内稜、三原慎弘：施工時に生じた初期欠陥がコンクリートのスケーリング抵抗性と表層品質に及ぼす影響、第 68 回（2024 年度）北海道開発技術研究発表会、安-37（道）、2025.2
- 5) 井川倫宏、玉岡優児、細田暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価基準に関する基礎的研究、コンクリート工学論文集、第 29 卷、pp.101-109、2018