

論文 表面気泡抜き取り装置の使用条件と中性化抑制効果の関係

進藤 拓末*1・渡辺 健*2・橋本 親典*3・井上 裕史*4

要旨：コンクリート表面の気泡を抜き取り、美観向上を目的とした表面気泡抜き取り装置であるが、劣化因子の浸入を抑制できる可能性がある。本研究では、ブリーディングが発生した場合の装置の影響を評価するため、使用回数、使用時期を変えた供試体において反発度の測定、促進中性化試験により検討した。使用回数に関しては、二値化による気泡痕除去効果の数値化、細孔径分布の測定を行った。その結果、本研究条件では装置使用により、反発度は小さくなり、中性化の抑制は使用回数1回、使用時期はパイプレータ使用後5分以内の使用において最も抑制効果があった。また、装置使用により細孔径分布が変化する可能性を示した。

キーワード：表面気泡抜き取り装置、中性化深さ、二値化、細孔径分布

1. はじめに

表面気泡抜き取り装置における主要な性能は、コンクリート表面の気泡除去による美観の向上である。打設直後のフレッシュコンクリートに型枠に沿って、図-1に示す形状の装置の先端を差し込み、気泡を抜き取ることで、コンクリート構造物の外観において有害な気泡痕を除去する装置である¹⁾。

コンクリートの耐久性を向上させるためには、配合の工夫などもあるが、基本的には、良好な施工を行うことが重要である。コンクリートの場合、打設時のコンクリートの締固めが重要であるが、近年の耐震補強による鉄筋の密な配筋状況などにより、コンクリートの締固めが不十分になるケースがでてきている。また、コンクリート構造物の耐久性は、鉄筋を腐食から守ることが重要であるが、その際には、かぶりコンクリートの品質、密実性が重要であることが指摘されている²⁾。

表面気泡抜き取り装置により、気泡痕の減少に伴い表面積が減少するため、劣化因子の浸入に大きく影響を及ぼす吸水量の減少、つまり水密性能の向上が考えられる。我々の研究グループでは、その効果を検証するために無筋コンクリートブロックで実験を行った。その結果、気泡の発生が少ない垂直面での改善効果がみられており、これは気泡抜き取り効果ではなく、かぶり付近のコンクリートの締固めによる効果の可能性と考えられる³⁾。また、かぶりコンクリートでの装置使用により、水密性の向上、中性化抑制効果および塩化物浸透抑制効果がみられた。このことにより、装置使用により、かぶりコンクリートを締め固めることができたと考えられる⁴⁾。

本研究では、ブリーディングが発生した場合の表面気泡抜き取り装置の影響を評価するために、型枠に打設し

たコンクリートにパイプレータを使用した後、0, 5, 10, 20, 30分経過させた後に表面気泡抜き取り装置を使用した供試体を作製した。また、装置を1, 2, 3回使用した供試体を作製した。これらの供試体を用いて、シュミットハンマーを用いた反発度の測定や促進中性化深さ試験を行った。また、マイクロスコープを用いた気泡痕除去効果の数値化および、水銀圧入法による細孔径分布による測定を行い、気泡抜き取り装置の使用回数やタイミングについて検討した。

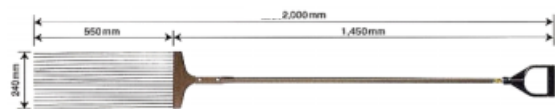


図-1 表面気泡抜き取り装置

2. 実験概要

2.1 供試体概要

本研究では、レディーミクストコンクリート工場で製造されたフレッシュコンクリートを使用した。目標スランプを18cmとした。実験に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。

型枠は、縦×横×高さ=1000×500×1000 (mm)とした。打設は3層に分け、1層ごとに、縦1000mmを3等分にし、それぞれパイプレータを約10秒ずつかけた。

表-1 供試体に用いたコンクリート配合

G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	AE減水剤
20	18	4.5	54.5	48.4	181	332	833	894	3.65

*1 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻 博士前期課程1年 (正会員)

*2 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門准教 博士(工学)(正会員)

*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門教授 工博(正会員)

*4 株式会社山全 工務部



写真-1 バイブレータ挿入時

写真-1 は、バイブレータ挿入時の様子である。

表面気泡抜き取り装置の使用時期による検討を行うために、表面気泡抜き取り装置をバイブレータの使用後、0、5、10、20、30 分経過させ使用した。ここで、0 分とは、バイブレータによる締固め直後に表面気泡抜き取り装置を使用することを意味する。比較のため、表面気泡抜き取り装置を使用しない供試体をあわせて作製した。また、D13 の鉄筋を 100mm 間隔で格子状に配し、かぶりを 50mm とした。

表面気泡抜き取り装置の使用回数による検討を行うために、表面気泡抜き取り装置をバイブレータの使用後、1、2、3 回使用した。1 回装置の使用回数が増える間に 5 分程度の時間を要した。比較として、表面気泡抜き取り装置を使用しない供試体を作製した。表-2 に実験条件を示す。

表-2 実験条件

	反発度測定	中性化深さ試験	二値化	細孔径分布
使用時期	○	○	○	△
使用回数	○	○	○	1, 3回のみ

2.2 ブリーディング試験

フレッシュコンクリートのブリーディング試験を JIS A 1123 に従って行った。図-2 にブリーディング量の結果を示す。ブリーディング率は 1.02%であった。図-2 より、このコンクリートでは、100 分程度までブリーディングがみられた。本試験では、30 分後までの時間での影響を検討しており、そのブリーディング量は、最終的なブリーディング量に対して 1/5 程度である。30 分以降についてはコンクリートが硬くなっており、表面気泡抜き取り装置の適用が難しかった。また、供試体はブリーディング試験と比べ非常に大きいため、ブリーディング量も多くなり、装置使用に大きな影響を与えると考えられる。

2.3 反発度測定方法

反発度をシュミットハンマーによって測定する方法

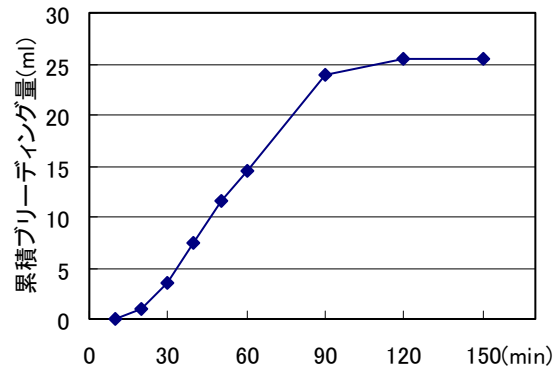


図-2 ブリーディング量結果

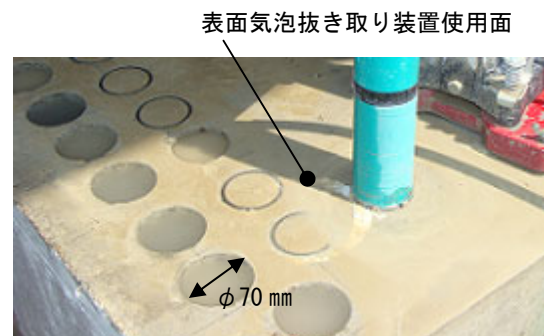


写真-2 コア供試体の採取位置

について JIS A 1155 に従って行った。

2.4 中性化深さ試験

コンクリート劣化因子である炭酸ガスの浸入抑制効果を検討するために、供試体より表面気泡抜き取り装置の使用面からコア供試体2本 (φ70mm) を採取し、促進中性化試験を実施した。写真-2 にコア供試体の採取位置を示す。表面からの中性化深さのみを計測するため、コア抜き供試体の周囲をエポキシ樹脂で覆い、中性化を促進させた。中性化促進装置の設定はCO₂濃度5%、温度30℃、湿度60%に設定した。促進中性化後4、8週で割裂し、中性化深さを測定した。以下に手順を示す。

- 1) 表面からの中性化深さを観測するため、コア供試体の周囲をエポキシ樹脂で覆う。
- 2) 供試体を中性化促進装置に入れ、中性化を促進させる。
- 3) 所定の材齢に達した後、供試体を割裂する。
- 4) 試薬は、JIS K8006で規定されている1%フェノールフタレイン溶液 (水量約15%) を用いる。
- 5) 測定方法は、供試体の測定面からコンクリート片や粉をブローア等を用いて取り除いた後、試薬がしたたらない程度に噴射し、コンクリート表面から赤着色部までの距離をノギスで計測する。計測箇所は1側面につき6等分した5箇所とする。
- 6) 中性化深さは、供試体の各2面、合計10箇所の中性

化深さの平均値とし、小数点以下2桁までmm単位で計測する。

2.5 二値化による気泡痕除去評価

表面気泡抜き取り装置による気泡の除去効果を数値化するために、二値化を行い、気泡痕の面積比を測定した。以下の2種類の方法を用いた。

18×24cmの枠を使用し、各供試体につき、無作為に異なる2箇所で二値化処理を行い、気泡痕の面積比を測定した。撮影には、デジタルカメラを使用した。カメラの縦横の比率が3:4であることと、気泡痕が鮮明に確認でき、かつ広範囲から評価するために18×24cmの枠を使用した。18×24cmの枠を以下枠と略記する。枠では、二値化が確認できる最小の気泡痕の大きさは、直径約1mm程度である。写真-3は、枠による二値化である。

また、目視では、確認し難い微細な気泡痕の除去評価を行うため、マイクロスコープを使用した。20倍率のマイクロスコープを使用し、二値化処理を行い、気泡痕の面積比を測定した。マイクロスコープを用いて、各供試体につき、異なる9箇所撮影を行い、さらに1画像につき、2.5×2.5mmの範囲で2画像を選択した。マイクロスコープの使用では、二値化が確認できる最小の気泡痕の大きさは、直径約0.05mm程度である。写真-4は、マイクロスコープによる二値化である。

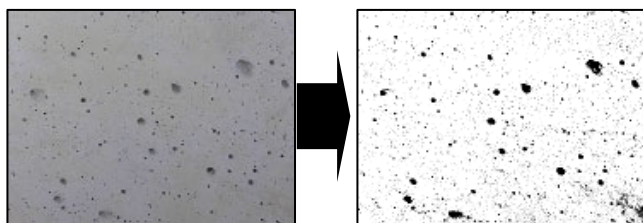


写真-3 枠使用による二値化

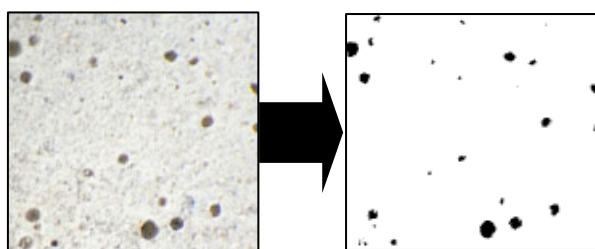


写真-4 マイクロスコープによる二値化

2.6 細孔径分布による評価

装置を0, 1, 3回使用した供試体を対象とし、コア供試体(φ70mm)の表面気泡抜き取り装置使用表面から5～15mmの間から2.5～5mm角の試料を採取し、水銀圧入法により細孔径分布を測定した。試料は各3本のコア供試体から採取しており、3本のコア供試体の平均的な分布となる。

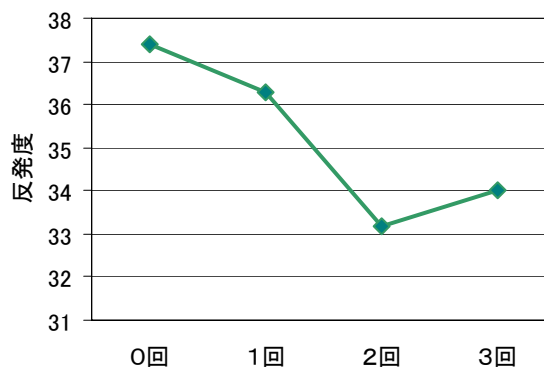


図-3 反発度測定結果(使用回数)

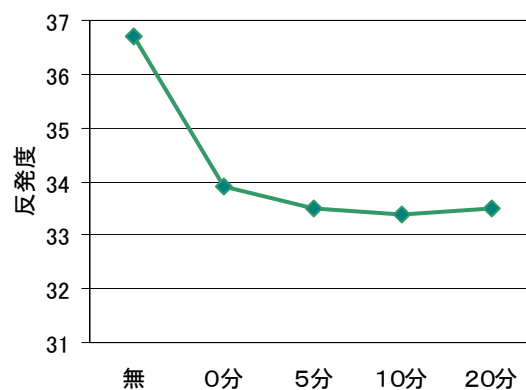


図-4 反発度測定結果(使用時期)

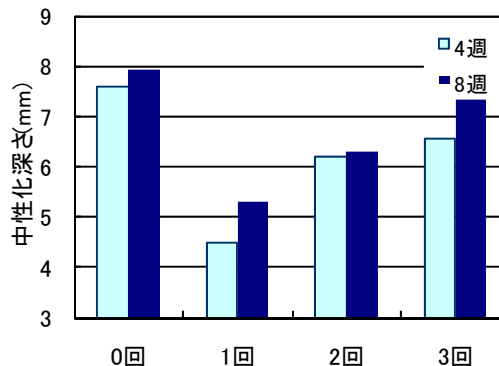


図-5 促進中性化試験(使用回数)

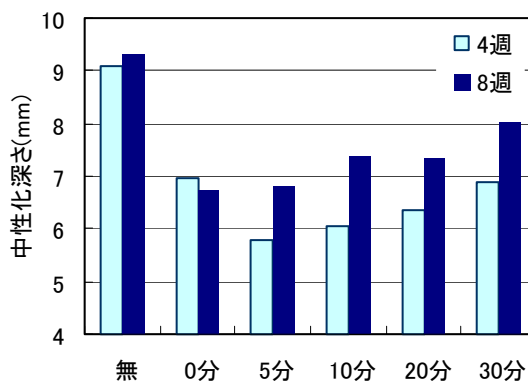


図-6 促進中性化試験(使用時期)

3. 実験結果

表面気泡抜き取り装置の使用回数、使用時期についての反発度測定結果をそれぞれ図-3、4に示す。表面気泡抜き取り装置を使用したものは不使用のものに比べ、反発度が小さくなった。これは装置使用の際、コンクリート表面部分の骨材を内側に移動させ、その表面部分がモルタル層になったためと考える。実際に、採取したコア供試体の断面からその様子が視覚的に確認できた。同時に表面部のブリーディング水がかき混ぜられ、水セメント比が増大したためとも考える。また装置の使用時間についての変化はみられなかった。

一般に、中性化、塩化など劣化因子は骨材周辺の多孔質な遷移帯やブリーディングによる骨材下面などの空隙を伝って浸入するとされている⁵⁾。コンクリート表面にモルタル層ができたことで、表面付近にある骨材の界面から劣化因子が浸入することを抑制する可能性が考えられる。

中性化深さ試験における表面気泡抜き取り装置の使用回数の結果を図-5に、使用時期の結果を図-6に示す。図-5より、表面気泡抜き取り装置を1回使用した場合に、最も中性化抑制効果がみられ、装置の使用回数を重ねる毎に、中性化抑制効果が薄れている。図-6より、表面気泡抜き取り装置をパイプレータ挿入後、0、5分後に使用した場合に高い中性化抑制効果みられ、時間の経過に伴い、中性化抑制効果が薄れている。図-5、6より、表面気泡抜き取り装置使用による中性化抑制効果は確認できた。また、使用回数が増えるにしたがって、中性化抑制効果が薄れていることから、表面気泡抜き取り装置使用の際に、装置使用の垂直表面のブリーディング水を巻き込み脆弱層が発生したためではないかと考えられる。また、使用回数および使用時期によってその効果が変わることが示された。今回のコンクリートの配合においては、使用回数が1回かつ、パイプレータ挿入後5分以内の適用において、最も効果が発揮されている。今後、配合の異なるものに対して検討が必要である。

二値化による画像全体に対する気泡痕の面積比率における表面気泡抜き取り装置の使用回数の結果を図-7に、使用時期の結果を図-8に示す。

図-7より、表面気泡抜き取り装置の使用回数を重ねる毎に、気泡痕の面積比率は減少傾向にある。この傾向は、反発度測定結果にもみられ、表面気泡抜き取り装置の使用面がよりきめ細かいモルタル層に変化したためと考えられる。また、減少傾向から表面気泡抜き取り装置の使用3回がほぼ一定値に落ち着くと考えられる。ただし、図-5の結果と比較すると、複数回の使用による気泡の減少は、中性化抑制効果を向上させておらず、逆に1回の使用よりも中性化抑制効果は減少している。この

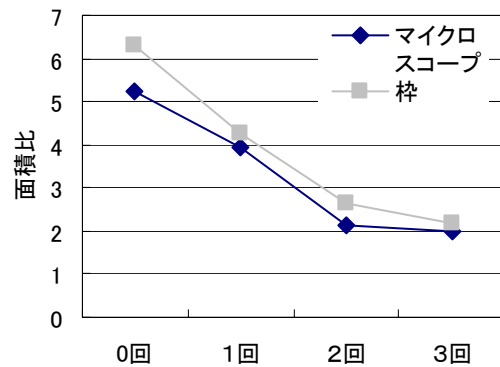


図-7 使用回数の二値化

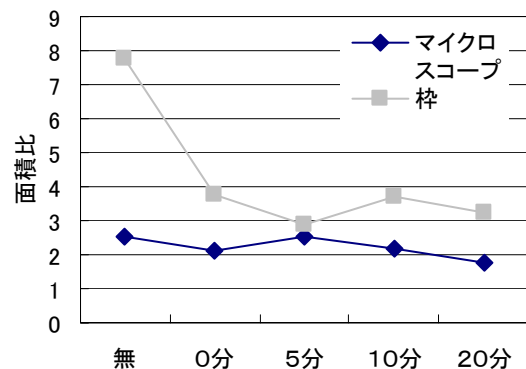


図-8 使用時期の二値化

ことより、気泡の減少が必ずしも中性化抑制効果と結びついていないといえる。また気泡を少なくするための過剰な気泡抜き取り装置の使用は、中性化抑制効果を減少させる可能性が示された。

図-8の杵を使用した場合に注目すると、装置使用による気泡痕の面積比率は顕著に減少しており、使用時期における影響はあまりみられなかった。この傾向は、反発度測定結果にもみられ、表面気泡抜き取り装置の使用時期はあまり関係がなく、装置使用により表面がモルタル層に変化したためと考えられる。マイクロスコープ使用の場合に注目すると、装置使用による影響、使用時期における影響はあまりみられなかった。しかし、マイクロスコープによる表面気泡抜き取り装置不使用の場合の気泡痕面積比率が、図-7のマイクロスコープ0回の場合を参考にすると小さいと考えられる。

表面気泡抜き取り装置の串状部分は直径約3.5mmであり、串の間隔は約12mmである。また、目視で確認できる気泡の直径は約1mm、マイクロスコープの使用で確認できる気泡の直径は約0.05mmである。このことより、表面気泡抜き取り装置により、串の径および間隔よりも小さな気泡においても除去されることが明らかになった。

表面気泡抜き取り装置の使用回数についての総細孔容積および細孔直径毎の細孔容積の結果を図-9に、細

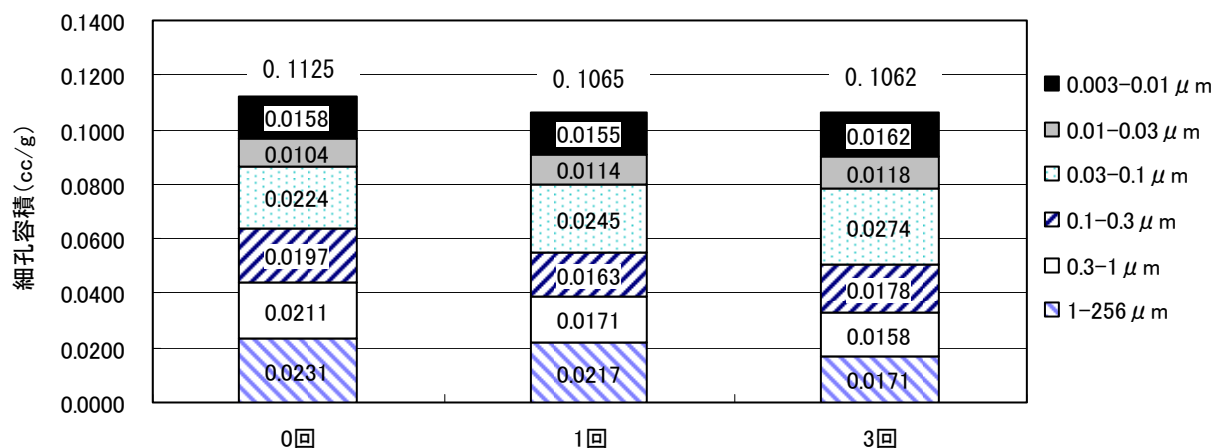


図-9 総細孔容積および細孔直径毎の細孔容積

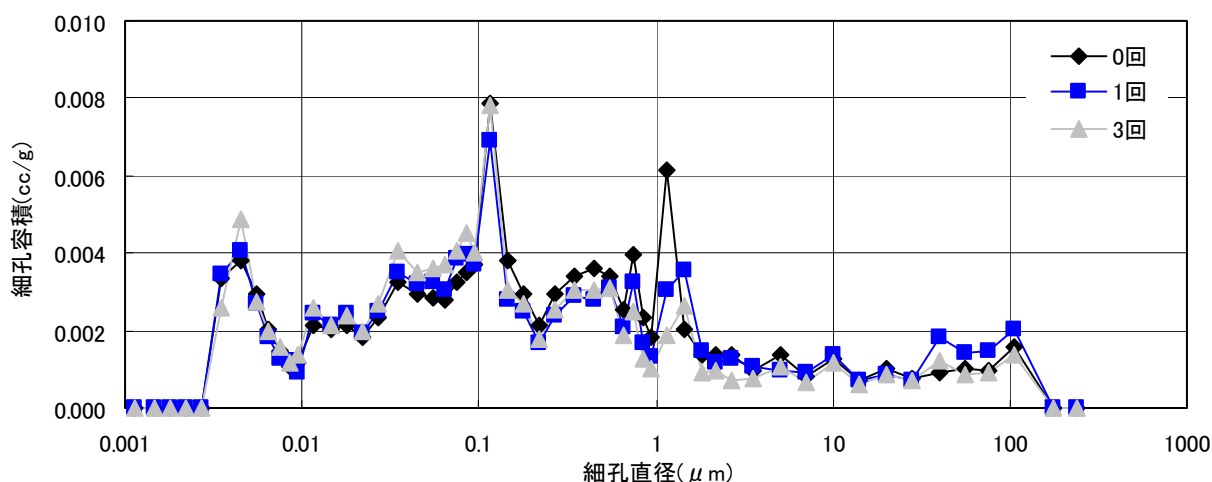


図-10 細孔径分布

孔径分布の結果を図-10に示す。図-9より、総細孔容積は装置を使用することにより減少している。また、細孔直径毎の細孔容積に着目すると、0.3~1, 1~256 μm の細孔直径が大きい場合に装置の使用回数の増加に伴い、細孔容積が減少している。図-10より細孔直径0.001~0.1 μm の範囲での細孔容積は、装置を1, 3回使用した場合に多く、0.1~10 μm の範囲では0回が多いことがわかる。このことから、表面気泡抜き取り装置の使用は細孔径のレベルでも影響を与えることが明らかになった。

また、既往の研究では細孔直径0.05~2 μm の範囲の細孔容積が塩化物イオンに関して耐久性能に影響を及ぼすとされる^{6),7)}。このことを踏まえ、図-11に0.05~2 μm の細孔容積を示す。図-11より、表面気泡抜き取り装置を使用した場合に細孔容積が減少し、装置の使用回数による変化はみられなかった。このことから、表面気泡抜き取り装置を用いることで、耐久性の向上が考えられる。しかし、図-5より中性化抑制効果は、装置の使用回数を重ねる毎に薄れている。このことから、細孔構造のみでなく、複合的な要因により抑制効果が変化していると考えられる。今後さらなる検討を進めていく予定である。

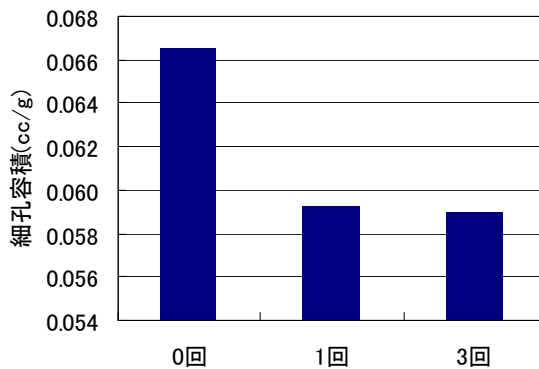


図-11 0.05~2 μm の細孔容積

4. 結論

本研究の範囲内から得られた知見を以下に示す。

- (1) 表面気泡抜き取り装置使用により、反発度が小さくなる傾向が示された。装置使用により、コンクリート表面にモルタル層ができたことで、表面付近にある骨材の界面から劣化因子の浸入を抑制する可能性が考えられる。
- (2) 表面気泡抜き取り装置使用による中性化抑制効果は確認できた。本論文の範囲では、使用回数は1回、

時期はバイブレータ使用後 5 分以内で最も効果が発揮された。

- (3) 表面気泡抜き取り装置使用の複数回の使用により気泡痕の量は減少するが、中性化抑制効果は必ずしも向上しない可能性がある。
- (4) 表面気泡抜き取り装置使用により、串の径および間隔より小さな気泡においても除去効果がみられた。
- (5) 表面気泡抜き取り装置使用により、細孔径分布が変化し、中性化の抑制効果に影響している可能性がある。

謝辞

徳島大学大学院 2 年渡辺遼太氏、同大学 4 年一鬼裕氏には本研究にあたり、実験の実施やデータ整理など、多大な協力を頂いた。また、細孔径分布の測定にあたっては、四国総合研究所に協力して頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 十河茂幸, 竹田宣典: コンクリート施工のコツがわかる本, セメントジャーナル社, pp.42, 2006

- 2) 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335 委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集 NO.80, pp.6, 2008.4
- 3) 井上裕史, 光滝敬二, 渡辺健, 橋本親典, 黒木優介: 表面気泡抜き取り器具を用いたコンクリートの耐久性に関する基礎的研究, 第 7 回学術講演会 講演論文集 社団法人 日本材料学会四国支部, pp.39, 2008
- 4) 渡辺遼太, 渡辺健, 橋本親典, 井上裕史: 表面気泡抜き取り装置を用いたかぶりコンクリートの締固め効果に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.31, No.1, pp.1651-1656, 2009
- 5) 田澤栄一編: エースコンクリート工学, 朝倉書店, pp. 6-7, 2002.4
- 6) 桜田良治, 山下義秀, 佐藤満: コンクリートの塩分浸透に及ぼす骨材の特性の影響について, 土木学会第 52 回年次学術講演集 V 部門, V-113, pp.226-227, 1997
- 7) 桜田良治ほか: コンクリートの細孔構造と塩分イオンの拡散係数, 第 25 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.137-142, 1998