

論文 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

渡辺 遼太^{*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ている表面気泡抜き取り装置であるが、かぶりコンクリートを締固めることができ、劣化因子の浸入を抑制できる可能性がある。本研究では、鉄筋を配したコンクリートにおいて表面気泡抜き取り装置使用の有無がコンクリートの耐久性に関連する劣化因子の浸入に及ぼす影響を促進中性化試験、塩化物浸透深さ試験により検討した。その結果、表面気泡抜き取り装置を用いることで中性化深さを抑えることができた。また、塩化物浸せき深さや、水密性能においても性能の向上が認められた。

キーワード：表面気泡抜き取り装置、かぶりコンクリート、中性化深さ、塩化物浸せき深さ、水密性能

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⁾一方、現在コンクリートの表面性状が耐久性に及ぼす影響が注目されており²⁾、かぶりコンクリートの品質の改善が求められている。

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。水密性能の向上が認められれば、中性化深さ、塩化物浸せき深さも抑制されると予測できる。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⁾

そこで、本研究では、表面気泡抜き取り装置の使用がかぶりコンクリートを締固めることにより、表面からの劣化因子浸入抑制効果にどのような影響を及ぼすかを検討した。締固め能力の検討については任意に配した鉄筋のかぶり部分で装置を使用することで評価することとした。



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、生コンプラントで製造された2種類のフレッシュコンクリートを使用した。W/Cは50%と一定とし、目標スランプを8cm、18cmとした。実験に用いたコンクリートの配合表を**表-1**に示す。

表-1 供試体に用いたコンクリートの配合表

配合名	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AE(%)
SL8	20	8	4.5	54.6	46.2	163	299	828	971	3.29
SL18		18			48.4	181	332	833	894	3.65

締固め能力を評価するためにこれらをそれぞれ、鉄筋を100mm間隔、150mm間隔で格子状に配し、かぶりを50mm、縦×横×高さ=1000×500×1000 (mm)とした型枠に打設した。**写真-1**は実際に使用した型枠と配筋の様子である。

打設は3層に分け、1層ごとに、打設面中心において

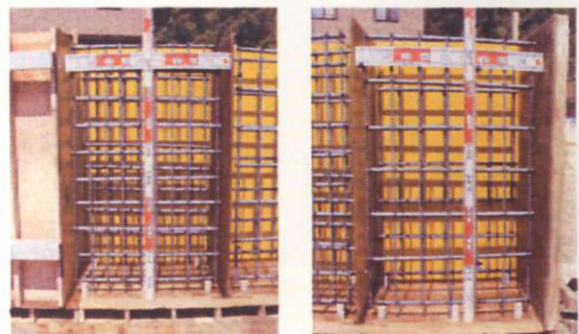


写真-1 使用型枠と配筋状況

*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助教 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

表-2 供試体概要

供試体名	スランブ (cm)	空気量 (%)	鉄筋ピッチ (mm)	気泡抜き 取り処理	締固め Lev.
N SL8	9	5.6	無筋	有or無	
P100 SL8	9	5.6	100	有or無	Lev.3
P150 SL8	9	5.6	150	有or無	Lev.2
P100 SL18	16	4.4	100	有or無	Lev.2
P150 SL18	16	4.4	150	有or無	Lev.1

500mm間隔で2箇所バイブレータを12秒間かけた。鉄筋間隔が狭い場合、バイブレータの振動エネルギーが伝達しにくいと考えた。また、比較用として無筋供試体も用意した。供試体の片側に表面気泡抜き取り装置を用い、もう片側はそのままの状態、装置使用の有無が及ぼす影響について比較できるようにした。計5体の供試体を作製した。供試体の概要を表-2に示す。

また、表-2においてLevとは、締固め能力を評価するために、実験を行うにあたって予測を立てたものである。締固めを阻害する要因として、配置した鉄筋ピッチの狭さ、コンクリートの流れにくさがある。これを考慮してランク分けを行ったものであり、Lev.1は締固め易く、Lev.3は締固め難いことを表している。表面気泡抜き取り装置を使用しない場合、かぶりコンクリートの締固めは不十分となり、Lev.3では劣化因子の浸入が増大すると予測されるのに対し、Lev.1では比較的抑えられると考えた。装置を使用した場合にもこれらの関係は表れると思われるが、装置により十分締固めが行われればその差は小さくなると考えた。このことを踏まえて実験および結果の考察を行った。

2.2 供試体表面における水密性能試験

水密性はコンクリートの緻密さの程度を表す指標の1つで、水密性能を調査することで劣化因子の浸入抑制効果の評価できると考えられる。簡易的な水密性能試験としてコンクリート表面での吸水量測定を行った。φ110mmのロートをコンクリート表面に接着、水を注入し吸水量を測定した。以下に手順を示す。簡易水密性能試験の様子を写真-2に示す。

- 1) 供試体表面3ヶ所を計測箇所として選定する。
- 2) φ110mmのロートをコンクリート表面にシーリング剤で接着させる。
- 3) シーリング剤の硬化後、水を注入して、10、20、30、40、50、60、90、120、180分毎に吸水量を測定した。計測中は、水の蒸発がないように注入後ロートの先端部を防水テープで塞いだ。

2.3 中性化深さ試験

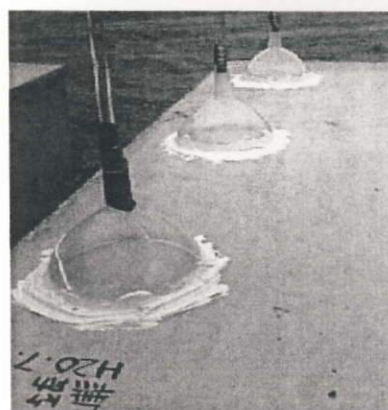


写真-2 吸水量試験

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、供試体よりコア供試体(φ70mm)を採取し、促進中性化試験を実施した。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1、2および4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。

2.4 塩化物浸せき深さ試験

コンクリート劣化因子である塩化物の浸入効果を検討した。塩化物浸透深さ試験としてコア供試体(φ70mm)を用いて実施した。表面からの塩化物浸せき深さを計測するため、コア抜き供試体の周囲をエポキシ樹脂で覆い、塩化物の浸せきを促進させた。塩化促進の設定は、塩分濃度10%、室温20.0℃に設定した。塩化促進後4、8週で割裂し、塩化物浸せき深さを測定する。以下に手順を示す。

- 1) 表面からの塩化物浸せき深さを観測するため、コア抜き供試体の周囲をエポキシ樹脂で覆う。
- 2) エポキシ樹脂の硬化後24時間水中で保存
- 3) 塩化促進の装置として密封可能な容器に、塩分濃度10%の食塩水をつくり、塩化物の浸透を促進させる。また、3日に1日、装置から取り出し乾燥させる。
- 4) 所定の材齢に達した後、供試体を割裂する。
- 5) 試薬は、1%硝酸銀溶液および着色薬としてフルオレセインナトリウムを用いる。
- 6) 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ール等を用いて取り除いた後、試薬をスプレーで液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。
- 7) 塩化物浸せき深さは、供試体の各2面、合計10箇所の中酸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。
本論文中では浸漬日数が十分でなかったため、4週までの結果で評価した。

2.5 圧縮強度試験

圧縮強度の測定方法としてシュミットハンマーによる反発度測定法をJIS A 1155に従って行った。以下に手順を示す。

- 1) ハンマーの作動を円滑にさせるため、測定に先立ち数回の試し打撃を行う。
- 2) シュミットハンマーが測定面に常に垂直方向になるよう保持しながら、ゆっくりと押しつけて打撃を起こさせる。
- 3) 1箇所の測定では、互いに25mmの間隔をもった9点について測定する。

- 4) 1箇所の有効な測定値の平均値を反発度とする。
- 5) 反発度と圧縮強度のグラフと照らし合わせて圧縮強度を得る。

2.6 液体窒素ガスを用いた簡易急速凍結融解試験

動弾性係数を求める方法として急速凍結融解試験⁴⁾を実施した。以下に手順を示す。

- 1) 0サイクルにおける超音波伝播時間を測定し、超音波伝播速度から動弾性係数を求める。
- 2) 容器に供試体を入れ、液体窒素ガスを30秒吹き付ける。
- 3) 容器の蓋を閉めて1分間静置する。
- 4) 1分後、供試体を取り出し融解するまで10分間40℃のお湯に浸漬する。
- 5) 完全に融解した供試体表面の水気を拭い、超音波伝播時間を測定する。
- 6) 2)~5)の作業を1サイクルとし、10サイクル行った時点で試験終了とした。

これまでの実験の成果により、10サイクルがJIS法による凍結融解試験の300サイクルに相当すると考えられている。⁴⁾

3. 実験結果

吸水量供給の時系列データを図-2に、180分後の吸水量を図-3示す。図-2より、測定を開始して30分までは急速に吸水し、その後一定量ずつ吸水していることが分かる。図-3より表面気泡抜き取り装置を使用したものは使用しなかったものに比べ、吸水量を10~50%減少させることが認められた。P150 SL18の供試体においてこれらの影響が顕著に表れなかったのはスランブが大きく鉄筋間隔が広いこと、表面気泡抜き取り装置使用の有無に関係なく、ある程度締め固められていたことが

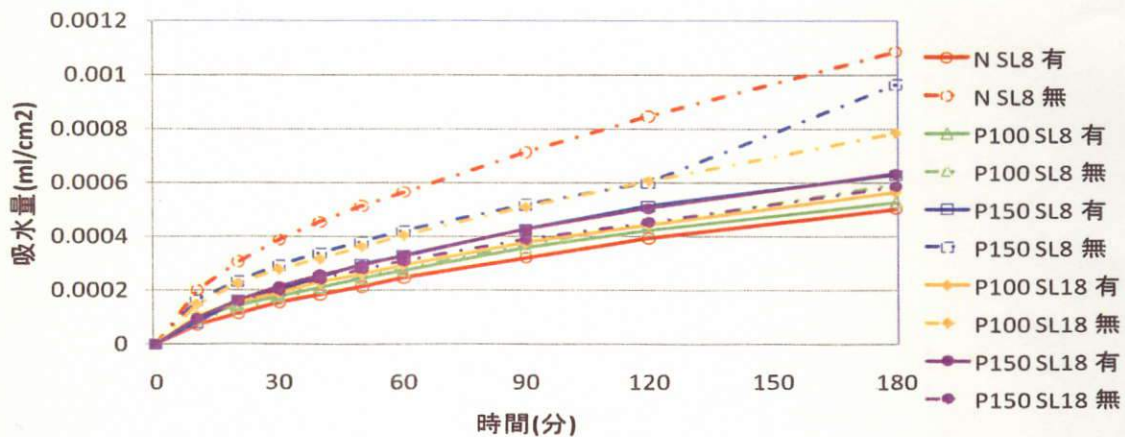


図-2 吸水量試験結果

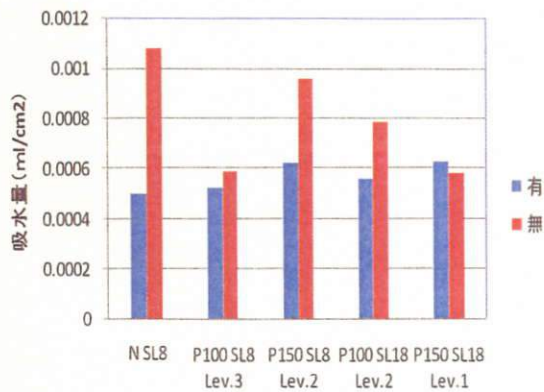


図-3 吸水量試験結果

原因であると考えられる。これは予想した縮固めレベルでLev.1と予想したことと一致している。Lev.1であるP150 SL18とLev.2であるP100 SL18を比較すると表面

気泡抜き取り装置により吸水量が抑えられていることがわかる。これらの原因は気泡の数が減少したことによる表面積減少の影響と縮固めの効果が考えられる。既往の研究では、空隙が減少することが必ずしも劣化因子の浸入を抑制するわけではないとされるため^{3),5)}、縮固めによる効果であると考えている。Lev.3と予想したP100 SL8については気泡抜き取り処理を行わなかった場合の吸水量が低すぎると考えられる。この原因については検討中である。

中性化深さ試験の結果を図-4に示す。どの供試体においても表面気泡抜き取り装置を使用したコア供試体が中性化を抑えられることが認められた。

中性化深さ試験の結果の中で、表面気泡抜き取り装置を使用しなかったものに注目すると4週目においてLev.1であるP150 SL18において中性化深さは最少、Lev.3であるP100 SL8においては中性化深さが最大にな

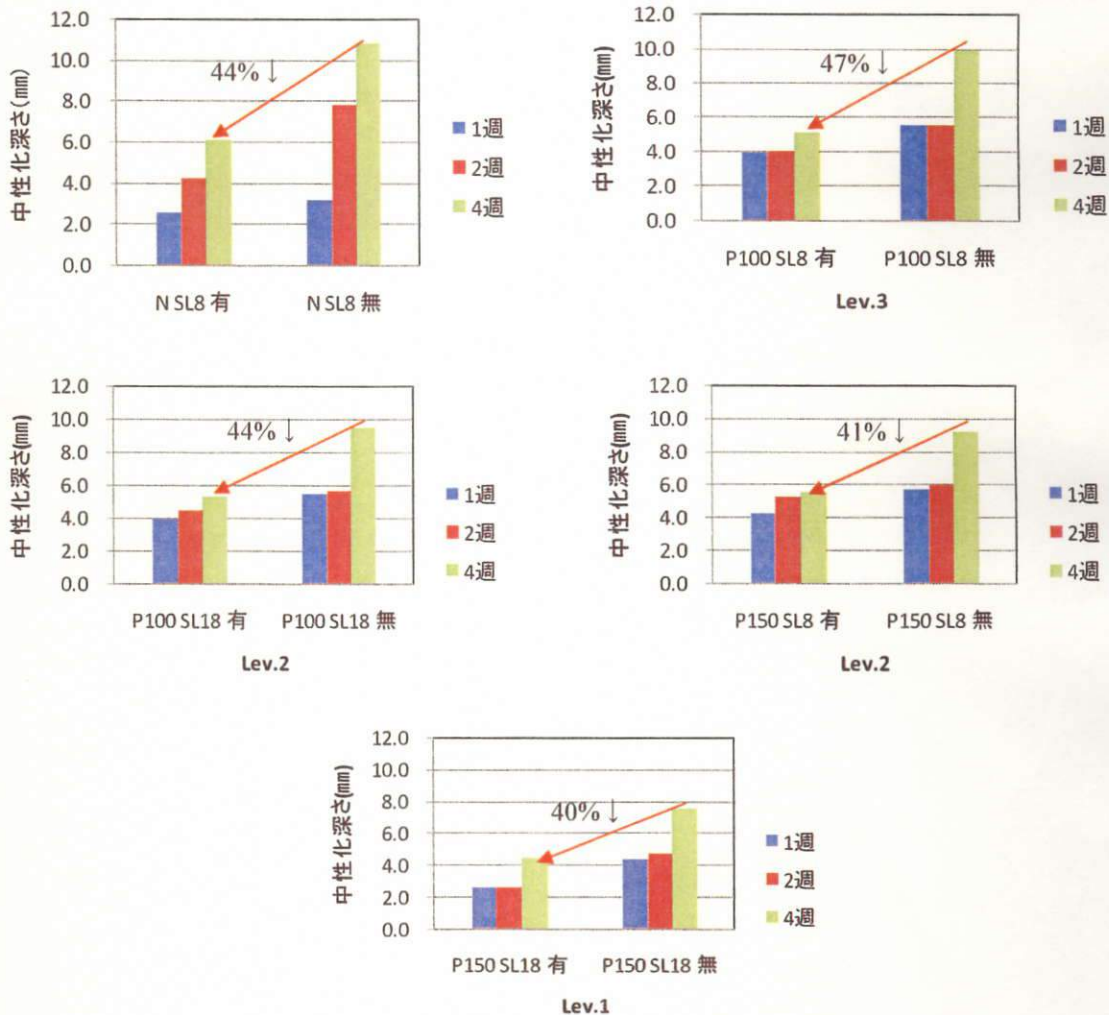


図-4 促進中性化試験

るという予測通りの結果が得られた。

中性化深さ試験の結果の中で、表面気泡抜き取り装置を使用したものに注目すると1, 2週目においてLev.1であるP150 SL18での中性化が目立つ結果となっていたが、4週目の結果では予想通り全体的な差が縮まっている。

各供試体において表面気泡抜き取り装置の使用の有無と中性化深さの関係を比較してみると、全体的に最も中性化が抑えられているものはLev.1であるP150 SL18であるが、これに対し表面気泡抜き取り装置の使用により中性化が抑えられた量、つまり減少率を考えるとLev.3であるP100 SL8で最も多く、Lev.1であるP150 SL18で最も少ないという結果になった。締固めが不十分だったもので大きく効果が現れた結果となった。この結果から表面気泡抜き取り装置に締め固め能力があるといえ、鉄筋のかぶり部分、パイプレータの振動が十分伝わらない個所において有効であることがわかる。劣化因子の侵入抑制効果を十分発揮したといえる。

塩化物浸せき深さ試験の結果を図-5に示す。塩化物浸せき深さ試験の場合、中性化深さ試験の結果のように表面気泡抜き取り装置を用いることで明確に塩化物の浸せきを抑えたとはいえないが、ある程度は装置を使用することで抑えられている。中性化深さ試験同様、Lev.3であるP100 SL8において最大の塩化物浸せき深さ減少率を発揮している。このことから締め固め能力があるといえる。

反発度法による圧縮強度の結果を図-6に示す。表面気泡抜き取り装置を用いたものは用いなかったものに比べ圧縮強度が低下している。これは装置がコンクリート表面部分の骨材を奥へ押しつけ、その結果表面部分がモルタル層になったためである。

一般的に、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

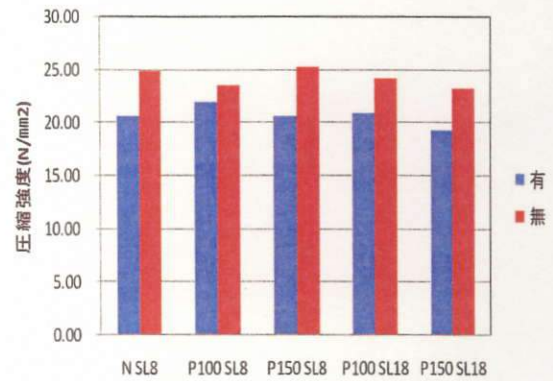


図-6 反発度法による圧縮強度結果

隙を伝って浸入するとされている。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ことも考えられる。これは劣化因子侵入抑制効果の一つの要因と思われる。

急速凍結融解試験の結果を図-7に示す。急速凍結融解試験において表面気泡抜き取り装置使用の有無が及ぼす効果に顕著な違いは現れなかった。既往の研究では10サイクルまでに相対動弾性係数が60%以下にならないければ、十分な凍結融解抵抗性があると考えられており⁴⁾、今回の供試体はすべて良好な耐凍害性を有していたといえる。

4. 結論

表面気泡抜き取り装置の締め固め能力について、水密性能、中性化、塩化等の劣化因子抑制効果を観点に検討した。また、装置の使用が圧縮強度、動弾性係数に及ぼす影響についても検討した。実験の範囲内から以下のことが明らかになった。

- 1) 装置使用により、コンクリート表面からの吸水量は

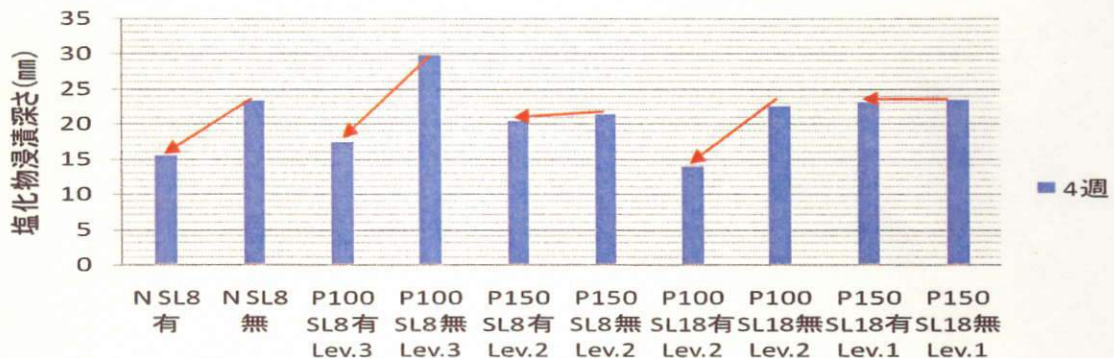
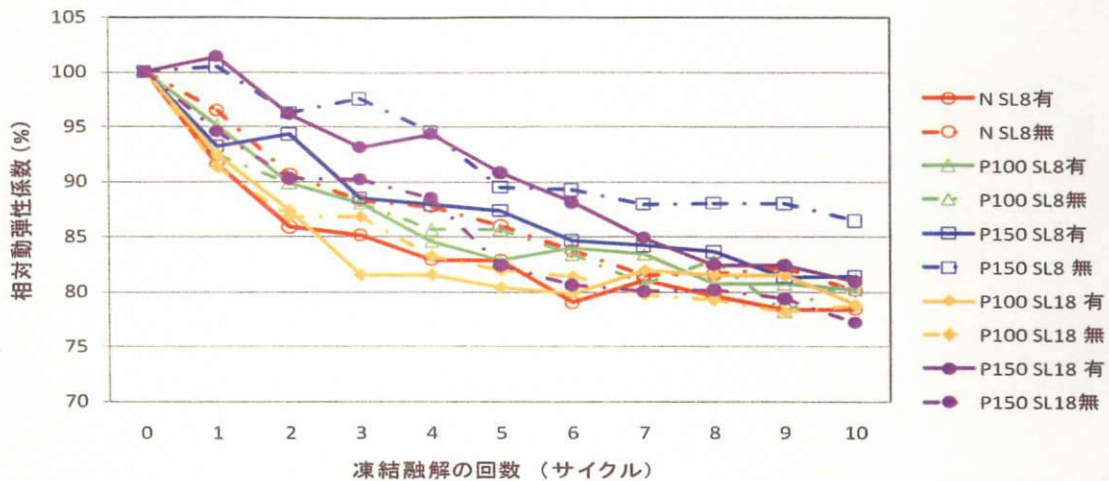


図-5 塩化物浸漬深さ試験結果



図一七 急速凍結融解試験結果

- 減少し、水密性が向上した。
- 2) 装置使用により、全体的に中性化は抑制された。特に締固めが不十分とされた供試体において効果が発揮され、締固め能力を認められた。
 - 3) 装置使用により、全体的に塩化は抑制された。中性化ほど顕著な結果ではなかったが、特に締固めが不十分とされた供試体において効果が発揮され、締固め能力を認められた。
 - 4) 装置使用により、シュミットハンマーによる圧縮強度は低下した。
 - 5) 装置使用により、急速凍結融解試験による動弾性係数に顕著な差は現れなかった。

Chikanori Hashimoto: The Influence of Surface Void Characteristics on The Durability and Appearance of Self-Compacting Concrete, RILEM Proceedings, Vol.54, pp.805-810, Ghent, Belgium, sep. 2007.

5. 謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会平成 20 年度科学研究費補助金の基盤研究(B)(2) (課題番号 20360193, 研究代表者: 橋本親典) に基づき実施されたものであることを付記し、感謝に意を表します。

- 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, p42, セメントジャーナル社, 2006
- 2) 土木学会(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, 2008.
- 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, 材料学会論文集
- 4) 湯北記代彦, 橋本紳一郎, 加地貴, 橋本親典: 液体窒素を用いた急速凍結融解試験によるコンクリート表面劣化の定量化, コンクリート工学年次論文集 Vol.28, No.1, pp.887-892, 2006.
- 5) Kazoo Ichimiya, Takehiro Yamasaki and