# 論文 表面気泡抜き取り装置による表面気泡除去過程の可視化と実構造物 における中性化抑制効果に関する調査

山田 悠二\*1・渡邉 健\*2・橋本 親典\*3・井上 裕史\*4

要旨:表面気泡抜き取り装置による表面気泡除去過程を可視化実験により明らかにすることを試みた。その結果,表面気泡抜き取り装置の挿入により気泡がピアノ線に集まり,引き抜く際に生じるピアノ線の通り道から 気泡が上昇して消失することがわかった。一方で,引き抜きが早い場合,表面気泡として通り道が残存する可 能性が示唆された。また,実験室レベルでこれまでに確認されている中性化抑制効果について,実構造物での 調査を行った。その結果,表面気泡抜き取り装置の使用により中性化深さが抑制されていることを確認でき, またそれはコンクリートの自重による締固め効果が小さい上部層で顕著に表れた。 キーワード:表面気泡抜き取り装置,表面気泡,表層品質,可視化,中性化深さ

### 1. はじめに

コンクリート表層には、劣化因子の侵入抑制や美観な どの性能が求められる<sup>1)</sup>。一方で、美観を低下させる一 因としてコンクリート表面に生じる気泡痕(以降,表面 気泡と称す)などがある<sup>2)</sup>。

**写真-1**, **写真-2**に示す櫛状の表面気泡抜き取り装置 (以降,装置と称す)は、打設直後のコンクリートと型 枠の境界面に挿入し、そして引き抜くだけの簡易な作業 で表面気泡を除去することができ、美観に有効である。 また、装置使用により、コンクリート表面に締固め効果 が付与され、これらの効果により劣化因子侵入に対して 優位に働き、表層品質の向上が期待できる<sup>3)</sup>。

一方で、一部のコンクリート配合では装置の効果が発 揮されない可能性も示唆されている。例えば、スランプ が8cm程度のコンクリートに使用した場合、十分な表面 気泡除去効果が得られない場合もあったとの報告がなさ れている。このような場合、装置の使用回数を増やすこ とで表面気泡除去効果の向上を図ることができるが、劣 化因子侵入の抑制が希薄になることが危惧される<sup>4)</sup>。こ のため、少ない使用回数で効率的に表面気泡除去を行え ることが求められ、コンクリートの配合に応じた使用方 法の提案が望まれる。そのためには装置による表面気泡 除去の過程が大きな要因になると思われるが、その詳細 には不明瞭な部分がある。

また,装置使用による劣化因子侵入の抑制に関する検 討は,実験室レベルに留まっており,実構造物では検討 されていない。装置の効果が長期的に継続されているか を実構造物で検証することは有用であると考えられる。 以上を踏まえ,本実験ではコンクリート配合に応じた 効果的な使用方法の提案を目標として,表面気泡除去の 過程を明らかとした。本手法では,可視化モデルコンク リート(以降,モデルコンクリートと称す)を使用した 可視化実験により表面気泡除去の過程を解明しようと試 みた。また,実際のコンクリート試験体を作製し,可視 化実験との整合性を検討した。さらに,装置を使用して 施工した実構造物を対象に中性化抑制効果を確認した。



### 2. 実験概要

本実験はシリーズ1とシリーズ2から成り、シリーズ 1 では可視化実験およびコンクリート試験体により表面 気泡除去の過程について検討した。シリーズ2では装置 を使用して施工した実構造物の中性化深さを測定した。

#### 2.1 装置の概要

使用した装置を**写真-1, 写真-2**に示す。挿入部分に ピアノ線(直径:3.5mm)が12本および16本配置。

\*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 博士後期課程 修士(工学) (学生会員) \*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 准教授 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)山全 工務部

## 2.2 シリーズ1:表面気泡除去過程の検討

# 2.2.1 可視化実験による検討

(1) 使用材料およびモデルコンクリートの配合

モデルコンクリートの使用材料を表-1,モデルコン クリートの計量値を表-2に示す。配合はモルタルに対す る粗骨材の容積比(Vg/Vm)を50%とした。作製したモ デルコンクリートを写真-3に示す。モルタルを想定した 部分(以降,モデルモルタルと称す)は無色透明の粘性 流体であり,装置や気泡の様子を視覚的に確認できる<sup>5</sup>)。

また,モデルコンクリートは粗骨材とモルタルの密度 差など,実際のコンクリートと異なる点もあるが,型枠 付近でのモルタル中の気泡の挙動を理解するうえでは有 効と判断した。なお,モデル粗骨材はエントラップエア を連行して気泡を生じ易くすることと,無色透明のモデ ルモルタルのみでは目視での気泡の確認が困難なため, 目視し易くするための背景とすることが主な目的である。

#### (2) 表面気泡除去過程の確認

装置は写真-1に示すものを用いた。試験は、写真-4 に示すアクリル製のボックス形容器にモデルコンクリー トを詰めた後、表面気泡を確認して装置の挿入・引き抜 き(装置の挿入・引き抜き速度=20mm/s 程度)を行い、 その過程を目視により確認した。使用したボックス形容 器は、高流動コンクリートの充填性評価(JSCE-F 511) に使用されるものと同形であるが寸法は若干小さい(高 さ 600mm 幅 300mm 奥行 220mm)。本実験では、充塡性 評価には使用せず、可視化のための容器として用いた。

# 2.2.2 コンクリート試験体による検討

実際のコンクリートを用いて,装置を使用した場合と 未使用の場合で試験体を作製した。作製した試験体は目 視による表面の観察と表面気泡面積率により評価した。

# (1) 使用材料およびコンクリートの配合

表-3に使用材料,表-4にコンクリートの配合を示す。 配合は、単位セメント量を350kg/m<sup>3</sup>で一定とし、単位水 量を変化させてスランプを調整した2水準とした。目標ス ランプは18±2cm(配合No.1)と8±2cm(配合No.2)と した。また、目標空気量はどちらも4.5±1.5%とした。

# (2) フレッシュ性状試験

フレッシュ性状を確認するため、スランプ試験(JIS A 1101)および空気量試験(JIS A 1128)を実施した。

#### (3) 試験体概要

試験体は高さ200mm幅200mm奥行200mmの立方体と

表-1 使用材料	その 1	(モデルコンクリー	-ト)
----------	------	-----------	-----

種類	材料	密度	流動性および粘性		
	高吸水性高分子	10 / 2	モルタルフロー*:150mm		
モテルモルタル	樹脂溶液	1.0 g/cm <sup>2</sup>	塑性粘度:10Pa·s		
モデル粗骨材	造粒焼成体	0.85 g/cm <sup>3</sup>	-		
*モルタルフローはテーブルフローを指す					
表-2 モデルコンクリートの計量値					

$V_G\!/V_M \ (\%)$	造粒焼成体 (g)	モデルモルタル (g)
50	4346	10227



写真-3 モデルコンクリート



写真-4 アクリル製ボックス形容器

表-3 使用材料 その2(コンクリート)

材料名:記号	種類	物性
セメント:C	普通ポルトランド セメント	密度:3.16(g/cm³)
粗骨材:G	砕石	表乾密度:2.57 (g/cm³)
細骨材:S	砕砂	表乾密度:2.56 (g/cm³)
混和刻·Ad	高性能AE減水剤(Ad1)	ポリカルボン酸系
163 111 HJ. AU	AE剤(Ad2)	アルキルエーテル系

した。また、試験体を作製する際に、装置を側面4面に使 用した場合と、未使用の場合で作製した。

試験体の作製手順は,立方体型枠にコンクリートを一 層で詰め,内部振動機(直径:28mm,振動数:280Hz)

表-4	コンクリ	リートの配合
-----	------	--------

配合 W/C(%) s/a(%) -	単位量 (kg/m³)					実測	実測			
	s/a (%)	W	С	S	G	Ad1	Ad2	スランプ(cm)	空気量 (%)	
No.1	50	45	175	350	771	946	C×1%	C×0.001%	18	4.7
No.2	45	45	158	350	791	970	C×1%	C×0.001%	6	3.0

による振動締固めを5秒間行った。締固め時間はコンクリ ート標準示方書 施工編に記される振動締固め時間の目 安<sup>05</sup>秒~15秒の下限値としており,締固め条件は比較的 厳しいと推定される。装置使用の場合は,締固め後,**写 真**-1に示す装置を使用した(写真-5)。なお,装置の挿 入・引き抜き速度は前節2.2.1と同様となるように行った が,ピアノ線と粗骨材の噛み合いにより完全に一定の速 度とはならなかった。また,装置の使用回数が増えるこ とによる締固め条件の変化を避けるため,使用回数は1回 のみとした。打設後は,木づちにより型枠を叩いた。

## (4) 表面気泡面積率の算出方法

試験体の脱型後,デジタルカメラ(1210万画素)により試験体表面を正面から18cm×13cmの枠に収まるよう撮影した。撮影した写真を二値化して枠内の全面積に占める気泡(直径1mm以上)の割合を算出し,試験体の側面4面の平均値を表面気泡面積率(%)とした。

# 2.3 シリーズ2:実構造物の調査

#### 2.3.1 対象とした構造物の概要

対象とした構造物は,**写真-6**に示す材齢10年程度の 擁壁とした。この擁壁は,徳島県内の山間部に建設され たものであり,車通りがそれほど多くないことから,中 性化速度は標準的であると推定される。

擁壁の施工には徳島県内の生コン工場で製造された レディミクストコンクリートを使用した。使用したコン クリートの仕様を表-5に示す。また装置は、写真-2に 示すものを用い、上部層と下部層で打設直後に使用し(挿 入・引き抜きは「2.2.2 コンクリート試験体による検討」 と同様)、その後、15 分経過してから再度使用した。こ のため、装置は各層で2回ずつ使用したこととなる。

#### 2.3.2 中性化深さ試験(ドリル法)

中性化深さの測定を NDIS 3419 に準拠して行った。測 定箇所を図-1 に示す。測定は、装置未使用の部分と装 置を使用した部分のそれぞれ上部層および下部層に対し て5箇所ずつ行った。以下に試験手順を示す。

まず,ろ紙に噴霧器を用いて1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して吸収させ,これを試験紙とした。

**写真-7** に示すように、削孔開始前に試験紙を削孔粉 が落下する位置に保持し、電動ドリル(直径:10mm)を 擁壁に対して垂直にさせたまま削孔した。

落下した削孔粉が試験紙の一部分に集積しないように、 試験紙を回転させ、削孔粉が試験紙に触れて赤紫色に変 色したとき、直ちに削孔を停止した。ノギスを用いて削 孔深さを mm 単位で小数点以下1桁まで計測した。なお、 削孔の各中性化深さの偏差は5箇所すべてで、それらの 平均の±30%以内であったが、値のばらつきを抑えて傾 向をより捉えやすくするため、孔の深さが最大と最小に なった2箇所を除いた3箇所の平均を中性化深さとした。



写真-5 装置による表面気泡除去の様子



写真-6 対象とした擁壁

表-5 コンクリートの仕様

W/C	Gmax	スランプ	呼び強度
(%)	(mm)	(cm)	$(N/mm^2)$
47	40	8	21



図-1 中性化深さの測定箇所



写真-7 中性化深さ試験の様子



写真-8 表面気泡除去の様子

#### 3. 実験結果および考察

# 3.1 シリーズ1: 表面気泡除去過程の検討結果

#### 3.1.1 可視化実験の結果

写真-8 は,装置による表面気泡除去の様子である。 装置を挿入する前の様子(写真-8, a)では,破線内に 示す部分に大きな気泡(縦25mm,幅12mm程度)が確 認された。装置の挿入後,この気泡は装置のピアノ線部 分に連行されるような挙動を示し,ピアノ線が通過する とともに挿入方向に変形した(写真-8,b破線内)。 装置を引き抜いているときの様子を示した写真(写真-8,c~e)では,ピアノ線が通った後の道すじ(以降,通 り道と称す)が確認された。気泡は装置を引き抜いた 後,通り道が徐々に塞がるにつれて小さくなっていった。 そして装置を引き抜き終わった後,少し経過してから気 泡は消失した(写真-8,f)。以上より,装置による表面 気泡除去の過程を整理する。

まず,装置の挿入により気泡は装置のピアノ線部分に 集中する。その後,装置を引き抜く際に生じるピアノ線 の通り道に気泡中の空気が流出する。そして,ピアノ線 の通り道が下方向から塞がっていくとともに通り道に流 出した空気が上昇する。これにより装置引き抜き方向の 表面まで気泡中の空気が追い出される。

**写真-9**は,装置が通過した後の様子である。破線内 に示すように,装置が通過してもモデルモルタルが充塡 されずに通り道が残存した箇所も確認された。

また,気泡に含まれるすべての空気が通り道へ流入す る前に,通り道がモデルモルタルにより充填され,気泡



写真-9 装置が通過した後の様子

が完全には除去されない場合も確認された。

ピアノ線の通り道が残存した場合,比較的大きな気泡 となってコンクリート表面に顕在化することが懸念され る。ピアノ線の通り道が残存しないようにするためには, 引き抜き作業をゆっくりと行うことが有効であると思わ れる。実際,引き抜く速度を遅くした場合(10mm/s 程度) では,ピアノ線の通り道が残存し難くなった。これはモ デルモルタルのダイラタンシーが影響したと思われる。

しかし,引き抜きにかける最適な時間については明確 に言及できていないため,実際のコンクリートとの整合 を含めて今後の検討課題としたい。

#### 3.1.2 コンクリート試験体による実験結果

**写真-10**にコンクリート試験体表面(側面4面)の様子を示す。No.1を見ると,装置未使用の場合ではどの面においても表面気泡が確認できるのに対し,装置を使用



写真-10 コンクリート試験体表面の様子

した場合ではすべての面で表面気泡がほとんど確認され なかった。これは、図-2に示す表面気泡面積率にも表 れており、装置使用では 0.03%程度と低い値を示した。 これらより、装置の気泡除去効果が発揮されたと分かる。 No.2を見ると、装置未使用の場合では気泡のように深 くはないものの、広い範囲(45mm 程度)で表面が窪ん だような変状(以降,表面変状と称す)が確認された(写

**真-11**)。これは充填不足により表面までペーストやモル タルが十分に行き届かなかったため生じたと思われるが, 装置使用の場合では表面変状が見られなかった。

本実験では,試験体を作製する際に振動締固め時間を 短くし,締固め条件を厳しいものとした。このため,型 枠への充填性状はコンクリートのコンシステンシーが大 きな要因となり,スランプが小さい No.2 では十分に充填 されにくくなったと考えられる。このような充填性が十 分でない配合では表面に変状が表れたが,装置による表 面の締固め効果により改善された。

一方で, No.2 では装置使用の場合に大きな表面気泡が 多いように見える。図-2 に示す表面気泡面積率でも, 装置を使用した場合では装置未使用の2倍近く大きい値



を示した。可視化実験で確認したように装置には気泡を 集中させる作用がある。この作用によりコンクリート内 部の気泡を表面側へ引き寄せたため気泡が表面化したが, 空気の上昇が少なかったため表面気泡としては多くなったと思われる。また、気泡の形に着目すると、縦に長いような気泡が見受けられた(写真-9 No.2,側面1)。

この縦長の気泡は、前述した可視化実験結果と同様に ピアノ線の通り道が充填されず、残存してできた気泡と 推定される。No.1 ではこのような気泡痕は見られないこ とから、No.2 のように充填性などのワーカビリティが良 好ではないコンクリートにおいて通り道が残存する可能 性が高くなると考えられる。ピアノ線の通り道を残存さ せないためには、引き抜きにかける時間を長くとるなど の対策が有効であると思われるため今後検証したい。

# 3.2 シリーズ2: 実構造物の調査結果

**写真-12** に擁壁における装置を使用した部分と未使 用部分の様子を示す。装置を使用した部分では表面気泡 が少なくなっており,また目視による確認では上部層と 下部層で表面の状況に相違はみられなかった。

図-3は中性化深さの測定結果である。中性化深さは、 上部層、下部層とも装置使用により減少した。また、下 部層に比べて上部層の方が効果は発揮されており、上部 層では装置使用により未使用の20%以上抑制できた。

上部層が下部層よりも中性化深さの抑制が顕著となった要因としては、コンクリートの自重による締固め効 果が影響したと思われる。下部層では上部層に打設され たコンクリートの自重による締固めが寄与されて表面の 密実性が増す。上部層ではそのような影響は小さく、装 置による表面の締固め効果が表れ易かった。前述のコン クリート試験体による検討結果を踏まえると、ワーカビ リティが不十分な配合や締固めにくい箇所では装置によ る表面の締固め効果が表れ易いといえる。

#### 4. まとめ

本実験では、表面気泡抜き取り装置(装置)の使用に よる表面気泡除去の過程を可視化実験により確認し、コ ンクリート試験体と比較した。また、装置を使用して施 工した実構造物の調査を行った。

以下に本実験の範囲で得られた知見を示す。

- (1) 装置による表面気泡除去の過程としては,装置を引き抜く際に生じるピアノ線の通り道に気泡中の空気が流出して表面に上昇し除去される。
- (2) 装置を引き抜く際に生じるピアノ線の通り道が残 存する場合が確認された。
- (3) 配合によっては装置のピアノ線に気泡が集中する 作用により、表面付近に内在する気泡が表面化し、 表面気泡面積率が装置未使用の2倍程度に増大した。
- (4) ワーカビリティが不十分な配合や締固められにく い箇所では装置による表面の締固め効果が表れ易い。
- (5) 実構造物の調査では、装置使用により箇所によって



写真-12 擁壁の表面



は中性化深さが 20%以上抑制された。なお,実構造物の 調査は今後も継続して行う予定である。

#### 謝辞

実構造物の調査では、池端大輝氏(大阪府庁)に協力頂 いた。ここに付記し、感謝の意を表します。

#### 参考文献

(社) 土木学会:コンクリート技術シリーズ,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(335 委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集,No80,2008

2)(社)日本コンクリート工学会:コンクリート診断技術'14 [基礎編], pp.14-16, 2014.10

3) 例えば,渡邉健,橋本親典:表面気泡抜き取り装置 を用いたコンクリートの締固め効果と劣化因子侵入抑制 効果に関する実験的検討,第38回セメント・コンクリー ト研究討論会論文報告集,pp.103-106,2011

4)進藤拓未ほか: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,コンクリート工学年次論文集,

Vol.33, No.1, 2011.7

5) 吉田元昭:局部交錯領域のせん断流に着目した2軸強 制練りミキサの高性能化,徳島大学大学院博士論文,

# pp.72-80, 2009.9

6) 土木学会編: コンクリート標準示方書 施工編[2012 年 度版], pp.117-118, 2012.12