

# 論文 不織布張付け型枠によるコンクリートの表面気泡低減技術の開発

渡邊 悟士\*1・黒岩 秀介\*2

**要旨**：型枠に張り付けた不織布のコンクリートに接する側の表面に吸水抵抗性（撥水性）を付与し、不織布内の間隙が早期にコンクリートからの余剰水で満たされるのを抑制して気泡を十分に吸収させることで、厚さ1mm程度以下の不織布で高い表面気泡低減効果が期待できる技術を提案している。ここでは、壁模擬試験体および実大壁試験体の施工実験によりその効果について検証した。提案技術により、撥水剤を吹き付けない不織布を張り付けた型枠を用いた従来技術よりも高い表面気泡低減効果が得られ、鉛直面および45°傾斜面で表面気泡面積率0.0%という、十分な表面気泡低減効果が得られた。

**キーワード**：表面気泡，型枠，不織布，撥水剤，壁，施工実験

## 1. はじめに

コンクリートの打込み時に巻き込まれた空気を除去できずに、型枠面に表面気泡が生じると、打放し仕上げもしくは塗装仕上げなどとする場合に、その箇所で補修が必要になる。補修箇所が高所の場合には、補修のために足場などが必要になる。加えて、美観に関する要求性能がきわめて高い場合には、補修箇所とその周辺箇所との色合わせが求められるといった課題がある。このような補修の手間をなくすためには、美観・仕上げ上の問題となるような表面気泡を生じさせない対策が必要になる。

不織布を張り付けた透水型枠により、コンクリートからの余剰水や気泡を吸収し、不織布内の間隙を通じて外部へ排出する従来技術<sup>1)</sup>がある。この方法では、不織布内の間隙が余剰水で満たされると、さらなる気泡の吸収に対する抵抗が生じるため、コンクリートの重量や振動締固めにより十分な側圧が与えられなければ、高い表面気泡低減効果は期待できない。不織布内の間隙が余剰水で満たされた場合の気泡吸収に対する抵抗という課題に対しては、不織布の厚さを増す、または不織布の裏側に通水層を設けるなどの対応でも改善が期待できる。ただし、これらの対応は、型枠面の平面精度確保や工事現場での型枠加工手間の面から望ましくない。

そこで、筆者らは、**図-1**に示すように、不織布のコンクリートに接する側の表面に、余剰水の吸収に抵抗するための撥水性を付与し、不織布内の間隙が早期に余剰水で満たされるのを抑制して、気泡を十分に吸収させる技術について検討している。これにより、厚さ1mm程度以下の不織布でも高い表面気泡低減効果が期待できる。既報<sup>2)</sup>では、小型試験体の施工実験により、通気量が $3\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 以上の不織布を使用し、その表面に吸水抵抗性（撥水性）を付与することで、高い表面気泡低減効果が得られることを確認した。

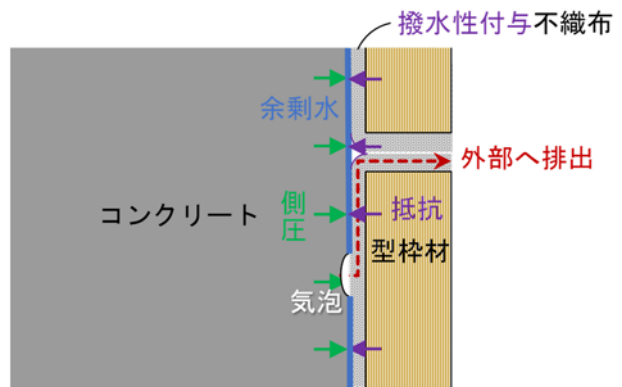


図-1 提案する表面気泡低減技術のメカニズム

本報では、これらの成果をもとに選定した不織布を用いて、壁模擬試験体および実大壁試験体の施工実験により提案技術の効果について検証した結果を報告する。

## 2. 施工実験に使用したコンクリートおよび不織布

### 2.1 コンクリート

**表-1** および**表-2**に、実験に用いたコンクリートの使用材料および配（調）合（以下、調合）条件を示す。コンクリートは、普通30 18 20Nのレディーミクストコンクリートとし、実験ごとに1台のトラックアジテータに積載して運搬した。実際の施工を想定して、スランプは18cm、空気量は4.5%に設定した。

表-1 コンクリートの使用材料

材料	種類・仕様
セメント	普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm <sup>3</sup> )
水	上水道水
細骨材	混合砂(表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材	1:八王子産碎石2005(表乾密度2.65g/cm <sup>3</sup> ) 2:大月産碎石2005(表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> ) 3:秩父産碎石2005(表乾密度2.70g/cm <sup>3</sup> )
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

\*1 大成建設(株) 技術センター 主任研究員 博士(工学) (正会員)

\*2 大成建設(株) 技術センター 構造研究室長 博士(工学) (正会員)

表-2 コンクリートの調査条件

適用試験体	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤量 (C×%)
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 1 G1	粗骨材 2 G2	粗骨材 3 G3	
壁模擬	53.5	18	4.5	318	170	883	368	275	281	1.0
実大壁	54.5			312		888				

表-3 コンクリートの試験結果

適用試験体	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
壁模擬	19.5 <18.5>	5.2	16	2241
実大壁	18.5 <18.5>	5.3	10	2285

注) < >内は試験体打込み後の再試験結果

受入れ後、スランプ (JIS A 1101)、空気量 (JIS A 1128)、コンクリート温度 (JIS A 1156) および単位容積質量 (JIS A 1116) の試験を行った。表-3 に、コンクリートの試験結果を示す。スランプが 18±2.5cm および空気量が 4.5±1.5%の範囲に収まっていることなどを確認し、施工実験に使用した。なお、試験体打込み後に再試験し、打込み中におけるスランプの変化が小さいことを確認した。

## 2.2 不織布

表-4 に、実験に用いた不織布の概要を示す。通気量および吸水速度は、それぞれ JIS L 1913 (一般不織布試験方法) のフラジール形法および滴下法に準拠して測定した。フラジール形法は、一定の吸引圧力で通気量を測定する方法で、一般的な不織布の試験に広く採用されている。滴下法では、不織布に滴下した水滴が吸収されるまでの時間を 1s 単位で測定し、60s 以上経過しても吸収されない場合には、試験報告書に“60s 以上”と付記するとされているが、ここでは測定時間を 300 分まで延長し、それでも吸収されない場合には“300 分以上”と付記した。

本実験では、既報<sup>2)</sup>で高い表面気泡低減効果が確認できた市販の透水シート (不織布) にシリコン系の撥水剤を吹き付けた仕様を採用し、壁模擬試験体施工実験では比較対象として撥水剤を吹き付けないものも使用した。

## 3. 壁模擬試験体施工実験

### 3.1 実験概要

#### (1) 試験体および型枠

図-2 に、壁模擬試験体の形状を示す。試験体は、幅 350×高 1000×厚 150mm の壁の下部の一方に、45° の傾斜部を、もう一方に水平部を設けた形状とした。配筋は、D10-@200mm で、傾斜部のある側の鉛直面に対するかぶり厚さを 30mm とした。図中の網掛けで示す、鉛直面 2 面、傾斜面 1 面および水平面 1 面の計 4 面における 350×300mm の範囲を表面気泡面積率の測定対象とした。

表-4 不織布の概要

不織布	概要	目付 (g/m <sup>2</sup> )	通気量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> ・s)	吸水速度 (分)
1	透水シート (市販)	300	3.0	0.017
1+撥水	1 に撥水剤を吹付け			300 以上

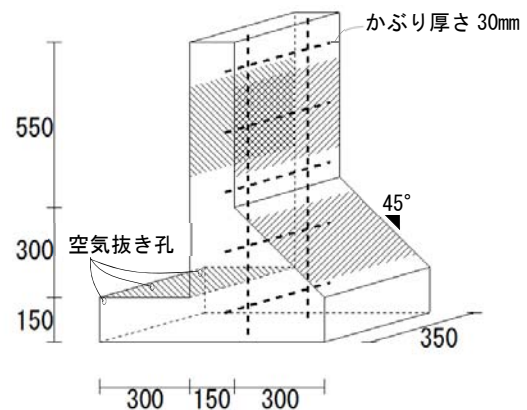


図-2 壁模擬試験体の形状 (寸法単位 : mm)



写真-1 型枠材ユニットへの不織布の張付け

試験体は、以下に示す型枠仕様の 3 体を作製した。

- ・基準 : 塗装合板型枠 (不織布の張付け無し)
  - ・A : 型枠に表-4 の不織布「1」を張付け
  - ・B : 型枠に表-4 の不織布「1+撥水」を張付け
- 表面気泡面積率の測定対象となる面に対して、不織布を裏側の粘着面でせき板に張り付け、図-1 のように不織布に吸収された気泡を外部に排出するために、型枠材の側面 (栈木側) に巻き込んでユニットを形成した (写真-1 参照)。その後で、試験体 B については、不織布に下向きで撥水剤を吹き付けて、型枠を組み立てた。

**(2) 試験体作製および試験**

前述した型枠に、以下の手順でコンクリートを打ち込んで、壁模擬試験体を作製した。なお、締め固めには公称棒径 40mm、振動数 200Hz の棒形振動機を使用し、挿入位置は幅方向中央の 1 箇所とした。

- 1) 最初に水平部の上まで打ち込んで、水平部の先端の上部に設けたφ10mmの空気抜き孔(図-2参照)からセメントペーストの流出が確認されるまで(10秒程度)振動機で締め固め、木槌で叩きを行った。
- 2) 次に傾斜部の上まで打ち込んで、傾斜部への充填が確認されるまで(5秒程度)振動機で締め固め、木槌で叩きを行った。
- 3) 最後に頂部まで打ち込んで、振動機で締め固め、木槌で叩きを行った。加振時間は、実際の施工における比較的軽微な締め固めを想定して、JASS 5.7.6 の解説に示されている一般的な範囲の下限値である 5 秒とした。

試験体は、材齢 3 日で脱型し、図-2 の網掛けで示す、鉛直面 2 面、傾斜面 1 面および水平面 1 面の計 4 面における 350×300mm の範囲について、1mm 以上の表面気泡面積率を測定した。鉛直面 2 面のうち、傾斜部のある側は振動機と型枠の間に配筋がある場合、水平部のある側は振動機と型枠の間に配筋がない場合の壁部材を想定したものである。なお、表面気泡面積率は、デジタルカメラによる撮影画像をもとに、画像処理ソフト ImageJ により 1mm 以上の表面気泡を対象として算出した。この方法については、既報<sup>2)</sup>で採用したシートに写し取って算出する方法と概ね同等の結果が得られることを確認している。

**3.2 実験結果および考察**

表-5 に、試験体ごとの表面気泡の状況および面積率を示す。

基準試験体の表面気泡面積率は、鉛直面、傾斜面、水平面でそれぞれ 0.9、6.0、13.8%程度であった。

撥水剤を吹き付けない不織布を張り付けた型枠を用いた試験体 A の表面気泡面積率は、鉛直面、傾斜面、水平面でそれぞれ 0.1、1.3、2.9%程度と、基準試験体に対して小さかった。ただし、鉛直面でも 1~5mm 程度の気泡が多数見られ、補修を不要にするという本研究の目標を満足しているとは言えない。

一方、提案技術に該当する試験体 B の表面気泡面積率は、鉛直面、傾斜面、水平面でそれぞれ 0.0、0.1、1.3%程度と、さらに小さかった。鉛直面では表面気泡は見られず、十分な表面気泡低減効果が得られた。傾斜面では 5mm 程度の気泡が測定対象範囲内で 2 個生じていたが、振動機による加振時間を少し延ばすことで改善可能かについては、次章の実大壁試験体施工実験で検討する。水平面については、大幅な表面気泡低減効果は得られるものの、スランブ 18cm 程度の一般的なコンクリートとの組み合わせでは十分な表面気泡低減効果は期待できない。

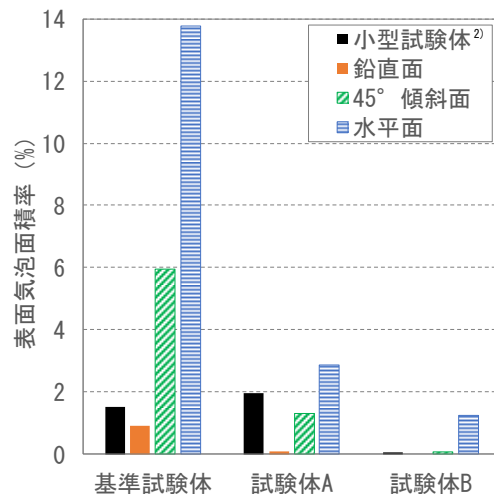


図-3 試験体および測定面ごとの表面気泡面積率

表-5 壁模擬試験体の表面気泡の状況 (数値：表面気泡面積率)

試験体	基準		A (従来技術)		B (提案技術)	
	傾斜部のある側	水平部のある側	傾斜部のある側	水平部のある側	傾斜部のある側	水平部のある側
上	鉛直面	鉛直面	鉛直面	鉛直面	鉛直面	鉛直面
	0.83%	0.96%	0.10%	0.10%	0.00%	0.00%
下	45° 傾斜面	水平面	45° 傾斜面	水平面	45° 傾斜面	水平面
	5.95%	13.78%	1.32%	2.88%	0.06%	1.26%

図-3 に、試験体および測定面ごとの表面気泡面積率の比較を示す。なお、鉛直面は2面について測定しているが、両者の測定結果には明確な差が見られなかったため、ここでは2面の測定結果の平均値で評価している。また、図中には、本実験の結果以外に、既報<sup>2)</sup>の小型試験体（鉛直面）の結果も併せて示した。

既報<sup>2)</sup>の小型試験体実験では、コンクリートのスランブ12cm、突き棒と木槌による軽微な締固めという本実験よりも厳しい施工条件であったため、いずれの型枠仕様でも、鉛直面における表面気泡面積率は本実験よりも大きい傾向にあった。また、1章で述べたように、試験体Aの型枠に張り付けた不織布は、振動機を用いた締固めによりコンクリートの側圧が大きくなればより高い表面気泡低減効果が期待できる。そのため、既報<sup>2)</sup>では表面気泡の深さは小さくなったが面積率の低減までは至らなかった試験体Aについても、本実験では表面気泡面積率の低減効果が見られた。このように、既報<sup>2)</sup>の小型試験体実験は、実施工における表面気泡低減効果を必ずしも直接的に評価できるものではないと考えられる。しかし、実施工に近い施工条件で行った本実験と同様に、試験体B（提案技術）で試験体A（従来技術）よりも明らかに高い表面気泡低減効果が確認されていることから、補修を不要にするという本研究の目標を満足するかどうかについて、試験体Bを基準として既報<sup>2)</sup>の小型試験体実験による相対的な評価が可能であると考えられる。

#### 4. 実大壁試験体施工実験

##### 4.1 実験概要

###### (1) 試験体および型枠

図-4 に、実大壁試験体の形状を示す。試験体は、幅800×高2700×厚180mmの壁の下部の一方に、45°の傾斜部を設けた形状とした。配筋（図中では省略）は、D10-@200mmダブルで、かぶり厚さを30mmとした。図中の網掛けで示す、鉛直面の上下2面、中2面、下1面および傾斜面1面の計6面における500×800mmの範囲を表面気泡面積率の測定対象とした。

試験体は、以下に示す型枠仕様の2体を作製した。

- ・基準：塗装合板型枠（不織布の張付け無し）
- ・B：型枠に表-4の不織布「1+撥水」を張付け傾斜部のない側の型枠は、長さ（高さ方向）900mmおよび1800mmのせき板と栈木から構成される型枠材ユニットを、図-4の実線箇所を継いで組み立てた。表面気泡面積率の測定対象となる面に対して、不織布を裏側の粘着面でせき板に張り付け、壁模擬試験体の場合と同様に型枠材ユニットを形成した。その後で、試験体Bについては、不織布に下向きで撥水剤を吹き付けて、型枠を組み立てた（写真-2参照）。

配筋：D10-@200mmダブル  
かぶり厚さ：30mm

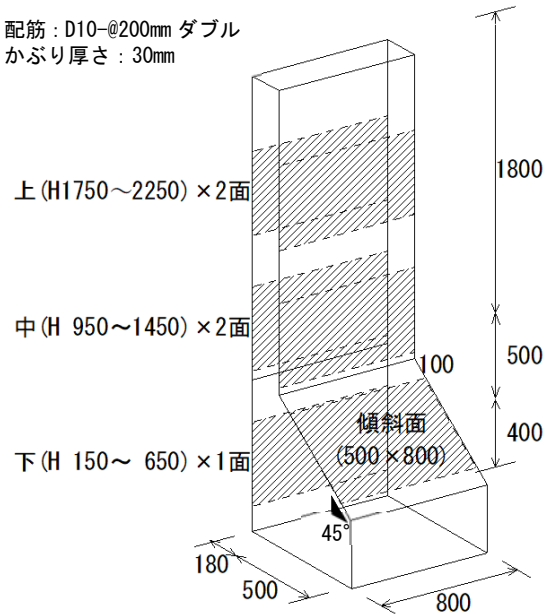


図-4 実大壁試験体の形状（寸法単位：mm）



写真-2 実大壁試験体の型枠の組立て













###### (2) 試験体作製および試験

前述した型枠に、以下の手順でコンクリートを打ち込んで、実大壁試験体を作製した。なお、締固めには公称棒径30mm、振動数200Hzの棒形振動機を使用し、挿入位置は幅方向の壁端部から200mmの2箇所（挿入間隔400mm）とした。

- 1) 最初に傾斜部の上まで2層に分けて打ち込んで、層ごとに傾斜部への充填が確認されるまで（1分程度/箇所）振動機で締め固め、木槌で叩きを行った。
- 2) 頂部までを3層（600mm程度/層）に分けて打ち込んで、振動機で締め固め、木槌で叩きを行った。加振時間は、実際の施工における比較的軽微な締固めを想定して、JASS 5.7.6の解説に示されている一般的な範囲の下限値である5秒とした。

試験体は、材齢5日で脱型し、図-4の網掛けで示す、鉛直面5面および傾斜面1面の計6面における500×800mmの範囲について、壁模擬試験体施工実験と同様に表面気泡面積率を測定した。

表-6 実大壁試験体の表面気泡の状況（数値：表面気泡面積率）

試験体	基準		B（提案技術）	
	傾斜部のない側	傾斜部のある側	傾斜部のない側	傾斜部のある側
上	鉛直面 	鉛直面 	鉛直面 	鉛直面 
	0.80%	0.45%	0.00%	0.00%
中	鉛直面 	鉛直面 	鉛直面 	鉛直面 
	0.66%	1.52%	0.00%	0.00%
下	鉛直面 	45° 傾斜面 	鉛直面 	45° 傾斜面 
	0.07%	3.11%	0.00%	0.00%

#### 4.2 実験結果および考察

表-6 に、試験体ごとの表面気泡の状況および面積率を示す。

基準試験体の鉛直面における表面気泡面積率は、上および中で 0.5～1.5%程度と壁模擬試験体施工実験と近い値であったのに対して、下では0.1%程度と小さかった。これは、傾斜部の上までは充填不良が生じないように、十分に時間をかけて（1体当たり傾斜部の上まで15分、その後頂部まで5分程度）打込み・締固めを行ったことなどが影響していると考えられる。傾斜面における表面気泡面積率も壁模擬試験体施工実験よりもやや小さい傾向にあったが、それでも3.1%程度と大きかった。

一方、提案技術に該当する試験体Bの表面気泡面積率は、傾斜部での振動機による加振時間を3章の実験よりも延ばしたことなどにより、傾斜面も含めていずれの測定箇所でも0.0%であり、表面気泡は見られず、十分な表面気泡低減効果が得られた。なお、不織布を張り付けていない試験体の側面では基準試験体と同様に表面気泡が見られたことから、このような表面気泡低減効果は、撥水性を付与した不織布の張付けによる効果であることが裏付けられる。

#### 5. まとめ

型枠に張り付けた不織布のコンクリートに接する側の

表面に吸水抵抗性（撥水性）を付与し、不織布内の間隙が早期にコンクリートからの余剰水で満たされるのを抑制して気泡を十分に吸収させることで、厚さ1mm程度以下の不織布で高い表面気泡低減効果が期待できる提案技術を対象とし、壁模擬試験体および実大壁試験体の施工実験によりその効果について検証した。得られた知見を以下に示す。

##### <壁模擬試験体施工実験>

- (1) 従来技術である、撥水剤を吹き付けない不織布を張り付けた型枠を用いた試験体では、塗装合板型枠を用いた基準試験体に対して表面気泡低減効果が確認されたが、鉛直面でも1～5mm程度の気泡が多数見られ、補修を不要にするという本研究の目標を満足しているとは言えない。
- (2) 提案技術を適用した試験体の表面気泡面積率は、鉛直面、45°傾斜面、水平面それぞれ0.0、0.1、1.3%程度と従来技術よりもさらに小さく、特に鉛直面では十分な表面気泡低減効果が得られた。水平面については、大幅な表面気泡低減効果は得られるものの、スランブ18cm程度の一般的なコンクリートとの組み合わせでは十分な表面気泡低減効果は期待できない。
- (3) 本実験結果との比較から、既報<sup>2)</sup>の小型試験体実験は、実施工における表面気泡低減効果を必ずしも直接的に評価できるものではないが、補修を不要にすると

いう本研究の目標を満足するかどうかについて、相対的な評価を可能にするものであると考えられる。

＜実大壁試験体施工実験＞

- (4) 塗装合板型枠用いた基準試験体では、鉛直面および45°傾斜面における表面気泡面積率は、最大で1.5%および3.1%程度であったのに対して、提案技術を適用した試験体では、鉛直面および45°傾斜面を含めていずれの測定箇所でも0.0%であり、表面気泡は見られず、十分な表面気泡低減効果が得られた。

#### 参考文献

- 1) 陳 海峰, 河辺伸二, 犬飼利嗣, 畑中重光: 透水型枠がコンクリートの表面性状に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, pp.631-632, 2004.8
- 2) 渡邊悟士ほか: 不織布を張り付けた型枠によるコンクリートの表面気泡の低減に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1247-1252, 2019.7