

論文 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

渡邊 悟士*1・黒岩 秀介*2

要旨：コンクリートに接する側の表面に撥水性を有する不織布を張り付けた型枠を用いて、余剰水の吸収を抑制しながら、気泡を選択的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得られる技術について検討した。小型試験体の施工実験により、表面に撥水性を付与し、通気量が $3\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 以上の不織布を使用した場合には、表面気泡はほとんど生じていなかったが、通気量の低下にともなって表面気泡低減効果も低下する傾向が見られた。その場合に、わずかに見られた表面気泡のほとんどは、コンクリートの打込み面の近傍に生じていた。

キーワード：表面気泡, 型枠, 不織布, 通気量, 吸水速度, 美観

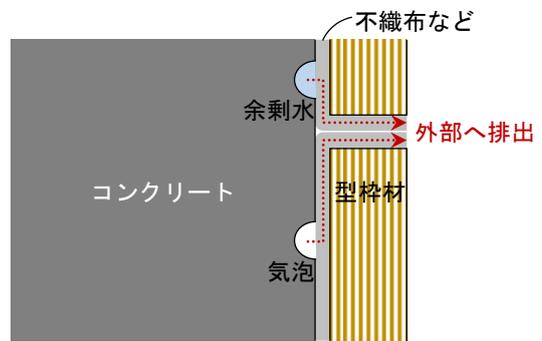
1. はじめに

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、その部分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ほとんど生じさせない対策が必要になる。

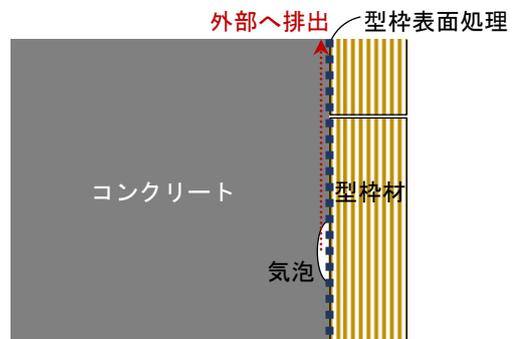
特殊な型枠を用いて、コンクリートの表面気泡を低減する方法が提案されている¹⁾²⁾が、それらのメカニズムは図-1 に示す 2 種類に大別される。

(a) では、型枠側に気泡を吸収することで、表面気泡を低減する。この例としては、透水シートを張り付けた透水型枠による方法¹⁾がある。この方法では、コンクリートからの余剰水や気泡が透水シートに吸収され、透水シート内の間隙を通じて外部へ排出される。透水シート内の間隙が余剰水で満たされると、コンクリートの重量や振動締固めによりそれを排出するための十分な圧力が与えられなければ、それ以上の気泡の吸収が阻害され、高い表面気泡低減効果は期待できない。

(b) では、型枠表面における気泡の上昇を促進することで、表面気泡を低減する。この例としては、型枠表面に超撥水処理を施す方法²⁾がある。この方法では、型枠表面の微細な凹凸形状の形成と撥水剤により型枠表面に超撥水性を付与し、型枠表面で気泡を上昇させて外部へ排出する。この場合、高い表面気泡低減効果を得るためには、型枠表面の水に対する接触角で 140° 程度以上というきわめて高い撥水性を確保することが求められる。



(a) 型枠側に気泡を吸収する方法



(b) 気泡の上昇を促進する方法

図-1 特殊な型枠による表面気泡低減のメカニズム

本研究では、前述したコンクリートの美観・仕上げ上の課題に対して、(a) のメカニズムを基本とした、従来技術よりも高い表面気泡低減効果が得られる技術の開発を目的とした。前述した透水シート（不織布）内の間隙が余剰水で満たされた場合の気泡吸収の阻害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方法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は望ましくない。そこで、

*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 部長 (研究担当) 博士 (工学) (正会員)

本研究では、コンクリートに接する側の表面に撥水性を有する不織布を用いて、余剰水の吸収を抑制しながら、気泡を選択的に吸収させることで、厚さ 1mm 程度以下の不織布でも高い表面気泡低減効果が得られる技術について検討した。

本報では、不織布を張り付けた型枠を用いて、小型試験体の施工実験により、十分な表面気泡低減効果を得るための不織布の仕様について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの調査

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。呼び強度が 30 程度の一般的なコンクリートを想定して、水セメント比は 55%とした。また、特殊型枠による表面気泡低減効果に関する既往の実験³⁾を参考に、基準となる塗装合板型枠面における表面気泡面積率で 1.5%程度を想定して、スランブは 12±2.0cm とした。実験は 3 日に分けて実施したが、いずれも空気量が 4.5±0.5%に収まるように、AE 剤の添加量で調整した。

2.2 型枠の仕様

試験体の寸法は、前述した既往の実験³⁾と同様に、幅 300×高さ 300×厚さ 100mm とし、壁部材の現場打ちを模擬して型枠(写真-1 参照)を作製した。試験体ごとに、300×300mm の 2 つの型枠面について、一方を基準となる無垢の塗装合板型枠とし、対面するもう一方に各種仕様の不織布を張り付け、両者の表面気泡を比較することで、不織布による表面気泡低減効果を確認した。

表-3 に、試験体ごとの型枠面の条件および作製日を示す。試験体は、使用した不織布の種類が異なる A~F シリーズについて 2 体ずつ作製した。ただし、B シリーズについては、再現性確認のために、B の 2 体に加えて、別日に同じ条件で B' を 1 体作製した。

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 ³)
水	上水道水
細骨材	大井川産陸砂(表乾密度 2.58g/cm ³)
粗骨材	青梅産硬質砂岩砕石(表乾密度 2.66g/cm ³ , 最大寸法 20mm)
混和剤	WRA : リグニンスルホン酸系 AE 減水剤 AE : AE 剤

表-2 コンクリートの調査条件

調査記号	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤量(C×%)	
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	WRA	AE
30-12-20N	55.0	12±2.0	4.5±0.5	300	165	844	979	0.25	0.003~0.006

表-4 に、使用し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。



写真-1 型枠 (奥側の型枠材に不織布張付け)

表-3 試験体の条件

試験体	型枠面の条件		作製日
	基準面	不織布面	
A	塗装合板	不織布 1	1
B		不織布 1+撥水剤	
B'			
C		不織布 2-1	2
D		不織布 2-2	
E		不織布 2-3	3
F	不織布 3		

表-4 使用した不織布の概要

不織布	概要	通気量 (cm ³ /cm ² ・s)	吸水速度 (分)
1	透水シート(市販品)	3.0	0.017
1+撥水	1 に撥水剤を吹付け		300 以上
2-1	撥水性樹脂で製造	9.1	300 以上
2-2	2-1 同様、110°C処理	1.2	300 以上
2-3	2-1 同様、150°C処理	0.4	300 以上
3	通気シート(市販品)	0.004	290

不織布 1 は、コンクリート型枠用の透水シートとして市販されているものであり、撥水性を有していないため、市販の撥水剤を吹き付けて表面に撥水性を付与したものの（吸水速度 300 分以上）についても検討した。不織布 2-1～2-3 は、不織布を構成する樹脂自体が撥水性を有するものであり、不織布 2-2 および 2-3 ではコンクリートの離型性の向上を目的として、表面を加熱処理により多少フィルム化させているため、通気量が小さくなっている。なお、不織布 1 に撥水剤を吹き付けたもの、および不織布 2-1～2-3 の撥水性は、水に対する接触角で 90～110°程度であった。不織布 3 は、通気シートとして市販されているものである。不織布の表面に有孔フィルム層を有するため、水を通さず、空気や湿気を通すとされているが、他の不織布と比較すると通気量はかなり小さかった。いずれの不織布も、厚さは 1mm 以下であった。

不織布 1 は、裏側が粘着面となっているが、その他はタッカーで型枠材に張り付けた。

2.3 試験体作製

コンクリートの練混ぜは、JIS A 1138 に従って行った。練混ぜには、容量 100L の強制練りミキサーを用いた。試験体の作製日ごとに、70L のコンクリートを 1 バッチで製造した。

練上がり後、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。スランプおよび空気量の試験結果が表-2 の範囲に収まっていることなどを確認し、作製日 1 についてのみ、JIS A 1132 に従って $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の圧縮強度試験用供試体を 3 個作製した。供試体は、材齢 1 日で脱型し、材齢 28 日まで 20°C 水中で養生して、圧縮強度試験 (JIS A 1108) に供した。

併せて、2.2 節で述べた型枠にコンクリートを打ち込んで、幅 300×高さ 300×厚さ 100mm の試験体を作製した。コンクリートの打込みおよび締固めは、既往の実験³⁾と同様とした。具体的には、コンクリートを 2 層に分けて打込み、層ごとに、突き棒を用いて 30 回突き、木槌を用いて 2 面とも 6 回ずつたたきを行った (写真-2 参照)。



写真-2 コンクリートの打込み・締固め状況

試験体は、20°C 封かん養生とし、材齢 3 日で脱型した。試験体ごとに、300×300mm の 2 つの型枠面について、既往の実験⁴⁾と同様に、シートに写し取った 1mm 以上の表面気泡の面積率を算出し、さらにノギスを用いて表面気泡の最大深さ (0.5mm 単位) を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの試験結果

表-5 に、試験体の作製日ごとのコンクリートの試験結果を示す。いずれのバッチについてもスランプおよび空気量ともに表-2 の範囲を満足しており、フレッシュコンクリートの性状は同様であった。材齢 28 日における圧縮強度試験結果は 41.4N/mm² であり、想定したとおり概ね呼び強度 30 に相当する結果であった。

表-5 コンクリートの試験結果

作製日	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	単位容積質量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)
1	13.0	4.5	21	2290	41.4
2	10.5	4.8	22	2287	-
3	14.0	4.5	20	2298	-

表-6 表面気泡の面積率および最大深さの測定結果

試験体	表面気泡面積率 (%)		表面気泡変化率* (%)	表面気泡最大深さ (mm)	
	基準面	不織布面		基準面	不織布面
A	1.82	1.95	+7	6.0	3.0
B	1.50	0.09	-94	5.5	0.5
B'	1.48	0.00	-100	6.0	0.0
C	1.36	0.00	-100	6.0	0.0
D	1.47	0.21	-86	5.0	2.0
E	1.25	0.14	-89	6.0	2.0
F	1.80	0.80	-56	6.5	4.5
平均	1.53	-	-	5.9	-

*基準面に対する不織布面の表面気泡面積率の変化率

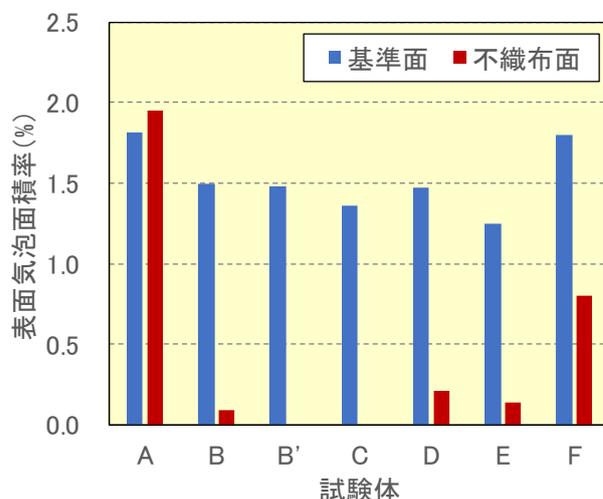


図-2 表面気泡面積率の比較

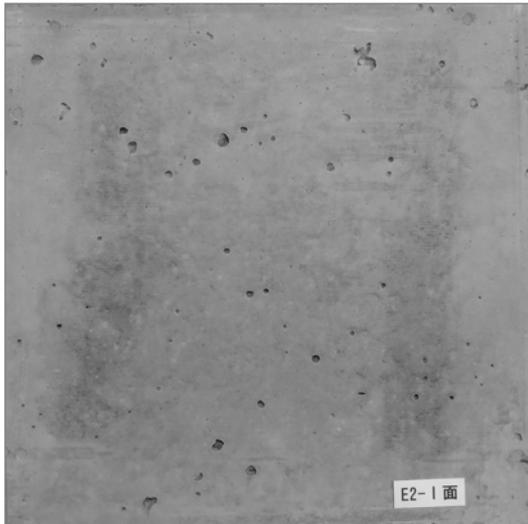


写真-3 表面気泡の状況 (試験体 E, 基準面)

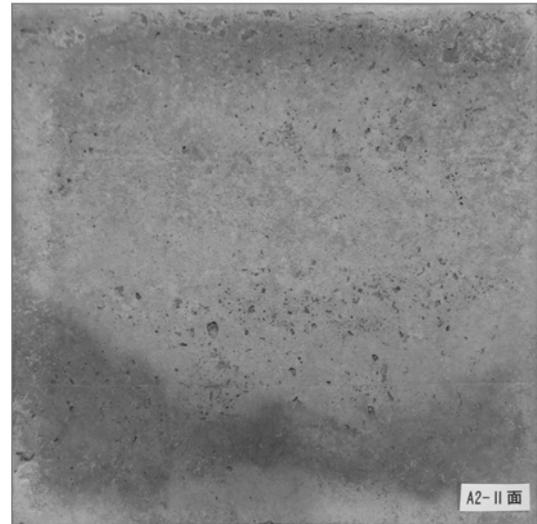


写真-4 表面気泡の状況 (試験体 A, 不織布面)

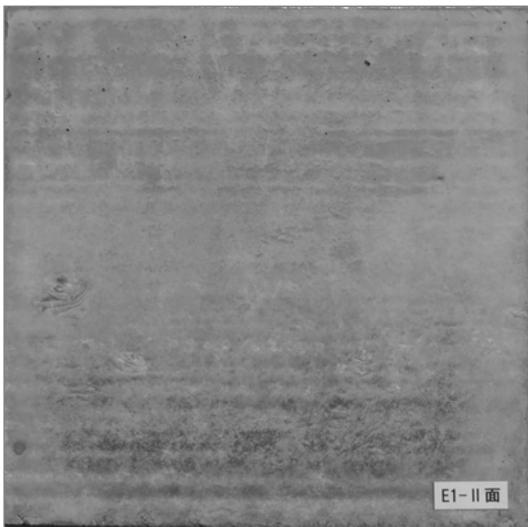


写真-5 表面気泡の状況 (試験体 E, 不織布面)

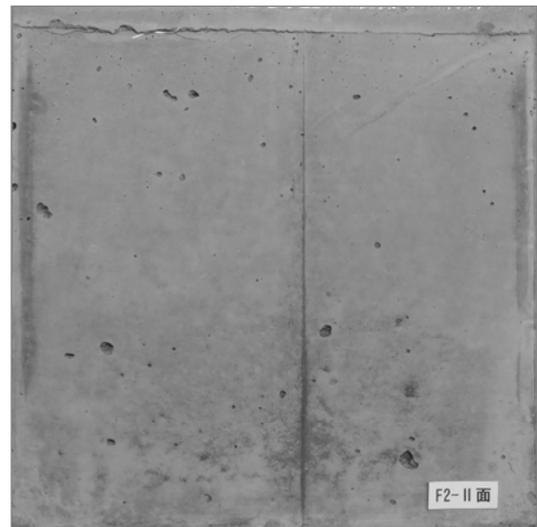


写真-6 表面気泡の状況 (試験体 F, 不織布面)

3.2 表面気泡測定結果

表-6 および図-2 に、型枠面における表面気泡面積率の測定結果 (試験体条件ごとの平均値) を示す。また、写真-3~写真-6 に、型枠面における表面気泡の状況を示す。なお、各写真の上側が、コンクリートの打込み面側である。

基準面 (塗装合板型枠面) の表面気泡面積率の平均値は 1.5% 程度であり、既往の実験³⁾と同等であった。また、試験体ごとの基準面の表面気泡面積率の変動は、前述した平均値に対して $\pm 0.3\%$ の範囲にあり、このことから、本実験の範囲では、作製日が異なる試験体も含めて、同様な条件で打込み・締固めが行えたことが確認できる。基準面の表面気泡は、表-6 に示すように、最大深さが概ね 6mm 程度であり、写真-3 のように、比較的深さの大きいものが多かった。

表面に撥水性を付与しておらず、吸水速度が速い不織布を使用した試験体 A の不織布面については、表面気泡

面積率の低減効果は見られなかった。ただし、写真-4 および表-6 の表面気泡最大深さが 3mm となっていることから分かるように、基準面に対して表面気泡の深さは小さくなっており、表面気泡の体積としては小さくなっていると考えられる。これは、不織布に気泡がある程度は吸収されたものの、十分な振動締固めが行われなかったため、不織布内の間隙に吸収された余剰水を排出し、さらに気泡を押し込むための圧力が不足したことによるものと考えられる。

試験体 A と同じ不織布に撥水剤を吹き付けることで、表面に撥水性を付与した不織布を使用した試験体 B の不織布面については、表面気泡はほとんど生じていない状況であった。また、別日に同じ条件で作製した試験体 B' についても同様な結果が得られており、再現性が確認できた。これは、不織布内の間隙への余剰水の吸収が抑制され、十分な表面気泡低減効果が得られたためと考えられる。

撥水性樹脂を用いて製造されているため、不織布全体が撥水性を有する不織布を使用した試験体Cの不織布面についても、表面気泡はほとんど生じていない状況であった。一方、試験体Cに使用したものよりも通気量が小さい不織布を使用した試験体DおよびEの不織布面については、多少表面気泡が見られるものの、9割程度（表-6の表面気泡変化率で-86%および-89%）の表面気泡低減効果が見られた。このような効果のメカニズムは、試験体Bと同様であると考えられる。

表面に有孔フィルム層を有することで、水の吸収の抑制は期待できるものの、通気量が小さい不織布を使用した試験体Fの不織布面については、写真-6のようにある程度表面気泡が残存し、表面気泡低減効果は6割程度（表-6の表面気泡変化率で-56%）に止まった。これは、通気量が小さいため、余剰水だけでなく、気泡の吸収効果も小さかったことに起因すると考えられる。

図-3に、使用した不織布の通気量と表面気泡変化率の関係を示す。表面気泡変化率とは、基準面に対する不織布面の表面気泡面積率の変化率であり、この値が小さいほど表面気泡低減効果が高いことを意味する。提案する技術において、不織布に求められる性能としては、コンクリートからの余剰水の吸収に対する抑制性能と、気泡の吸収性能が挙げられる。このうち、後者の性能に不織布の通気量が及ぼす影響を評価するため、図中では、前者の性能に関する理由から表面気泡低減効果が得られなかったと考えられる試験体Aを除く6種類の試験体を対象とした。本実験の範囲では、十分な余剰水の吸収に対する抑制効果を有することを前提として、不織布の通気量が $3\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 以上であれば、9割を超える表面気泡低減効果が得られ、それよりも不織布の通気量が小さい範囲では、通気量の低下にともなって表面気泡低減効果も低下する傾向が見られた。

なお、試験体B~Eでわずかに見られた表面気泡のほとんどは、写真-5のように、コンクリートの打込み面の近傍に生じていた。これは、既報りと同様な傾向であり、前述した図-1の(a)のメカニズムの関係上、コンクリートの重量による型枠側への圧力が生じにくい上層部では、下層部よりも気泡を不織布内の間隙に押し込む圧力が小さくなるためと考えられる。

実際の壁部材の現場打ちでは、このような打込み面の近傍の表面気泡は、棒形振動機などを用いてしっかりと締固めを行うことで、比較的容易に除去可能と考える。さらに、下層部のような棒形振動機などによる十分な締固めが困難な箇所についても、提案する技術により、高い表面気泡低減効果が期待できると考える。今後は、実大部材の施工実験などをもとに、提案する技術の実施工への適用性についても検討していきたいと考えている。

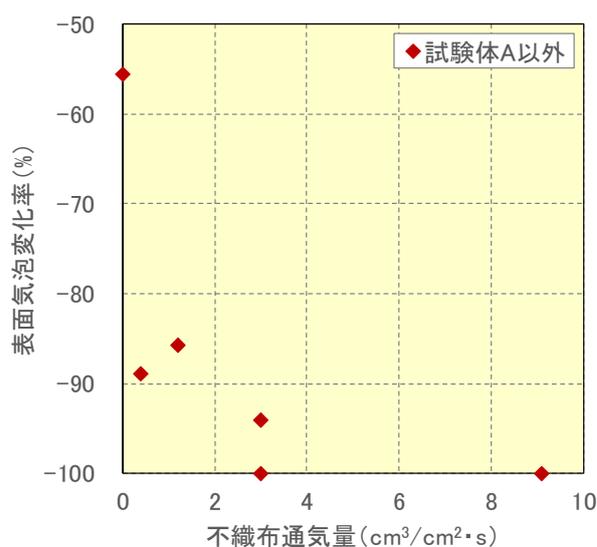


図-3 不織布の通気量と表面気泡変化率の関係

4. まとめ

コンクリートに接する側の表面に撥水性を有する不織布を張り付けた型枠を用いて、余剰水の吸収を抑制しながら、気泡を選択的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得られる技術について検討した。小型試験体の施工実験により、十分な表面気泡低減効果を得るための不織布の仕様について検討し、得られた知見を以下に示す。

- (1) 基準面（塗装合板型枠面）の表面気泡は、面積率が1.5%程度であり、最大深さが概ね6mm程度と、比較的深さの大きいものが多かった。
- (2) 表面に撥水性を付与しておらず、吸水速度が速い不織布を使用した場合には、表面気泡面積率の低減効果は見られなかったが、基準面に対して表面気泡の深さは小さくなっていた。
- (3) 表面に有孔フィルム層を有することで、余剰水の吸収を抑制した不織布を使用した場合には、不織布の通気量がかなり小さかったため、十分な表面気泡低減効果は得られなかった。
- (4) 表面に撥水性を付与し、通気量が $3\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 以上の不織布を使用した場合には、表面気泡はほとんど生じていなかったが、それよりも不織布の通気量が小さい範囲では、通気量の低下にともなって表面気泡低減効果も低下する傾向が見られた。その場合に、わずかに見られた表面気泡のほとんどは、コンクリートの打込み面の近傍に生じていた。

謝辞

本実験の実施にあたり、株式会社NSCより材料提供にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

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) 齊藤亮介ほか: 打放しコンクリートの美観向上に関
する研究 その 3 型枠の撥水性および目地棒の奥行
きが表面気泡に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術
講演梗概集, pp.133-134, 2015.9
- 3) 湯浅竜貴ほか: 打放しコンクリートの美観向上に関
する研究 その 4 調合の違いと超撥水型枠の転用が
表面気泡に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演
梗概集, pp.135-136, 2015.9
- 4) 黒田泰弘ほか: 打放しコンクリートの美観向上に関
する研究 その 1 超撥水機構を有する型枠がコンク
リートの外観に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術
講演梗概集, pp.129-130, 2015.9