

# 打放しコンクリートの美観向上に関する研究

—超撥水機構を有する型枠による表面気泡および色むらの抑制—

黒田 泰弘 辻埜 真人 依田 侑也 湯浅 竜貴 根本 浩史  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (土木技術本部)

## Improvement of appearance of concrete surface

—Reduction of air surface voids and color irregularities through use of the super-water-repellant formwork—

Yasuhiro Kuroda, Masato Tsujino, Yuya Yoda, Ryuki Yuasa and Hiroshi Nemoto

建築分野だけでなく、土木分野においても、打放しコンクリートの美観への関心が高まっている。著者らは、異業種における生物模倣技術を応用した超撥水技術に着目し、コンクリート型枠への適用について検討した。その結果、超撥水機構を有する型枠の使用が、脱型後のコンクリートの表面気泡と色むらを抑制し、コンクリートの美観向上に寄与することを明らかとした。

In the civil engineering and building fields, concern about the appearance of unfinished concrete has been rising. The authors have been researching a super-water-repellent technology originating from a completely different field based on biomimetics, and have examined its application to concrete formwork. It was demonstrated that applying this super-water-repellent technology results in better control of concrete air surface voids and color irregularities after formwork removal, therefore contributing to improved concrete appearance.

### 1. はじめに

コンクリートは、全世界で水に次いで使用量が多く<sup>1)</sup>、我が国の社会資本におけるストック量も約100億 $m^3$ と膨大である。しかし、「コンクリートから人へ」というスローガンで使われたように、コンクリートは社会資本の根幹をなす材料であるにもかかわらず、悪者扱いされた時期もあり、正当な社会的評価を受けていない印象がある<sup>2)</sup>。

ところで、コンクリートの父と呼ばれるオーギュスト・ペレのランシーの教会(1923年)、その事務所に学んだル・コルビュジェのロンシャンの礼拝堂(1955年)、ル・コルビュジェの記事に感銘を受け建築家を志した丹下健三の代々木第一体育館(1964年)など、コンクリートの造形性を生かした著名な建築は多く、現在でも安藤忠雄のように独特の質感を有する打放しコンクリートを好んで使用する建築家は多い。また、維持管理上の問題で、タイル仕上げが減少するなか、打放しコンクリートへのニーズは高まっており、杉板本実や針葉樹合板などの木目を転写した打放しコンクリートの建築も増えている。

こうした状況を踏まえると、コンクリートのイメージを向上し、その評価を改善するには、美観の優

れた打放しコンクリートが増えることが効果的ではないかと考えられる。しかし、豆板、砂筋模様、目違いなどと異なり、ひび割れ、表面気泡、色むらの抑制は極めて困難であり、しばしば打放しコンクリートの美観を大きく損なう状況が生じる。

このため、建築の化粧打放しでは、必要な補修を行った上で、特殊な道具を使って、全面塗り仕上げをする打放風の塗装技術が普及しているが、コンクリート素地を見せるのが本来の打放しであり、コンクリートのひび割れ、表面気泡、色むらを確実に抑制できる技術の確立が望まれている。

一方、土木分野においては、仕上げのない打放しコンクリートの使用が大半であり、コンクリートをきれいに打つことに従来より注意が払われてきた。また、近年、コンクリートの美観は表層品質の評価項目の一つとなっており、建築分野以上に、ひび割れ、表面気泡、色むらの抑制技術への関心は高い。

こうした背景のもと、著者らは、まず乾燥収縮ひび割れの抑制について検討し、乾燥収縮量を実質ゼロとした超低収縮コンクリートの開発を行った<sup>3)</sup>。そして、コンクリート表面の表面気泡や色むらを抑制するための施工技術に関する検討を開始したところである。

本報告では、生物模倣技術を応用した超撥水機構を有する型枠によるコンクリートの表面気泡および色むらの抑制効果について報告する。

## 2. 超撥水機構を有する型枠の表面構造

### 2.1 超撥水の理論

撥水性とは、水に対する濡れにくさであり、固体表面の水滴の接触角  $\theta$  が撥水性の指標になっている。接触角が  $90^\circ$  以上であれば撥水性があるとされ、接触角が  $150^\circ$  以上のものが一般的には超撥水と認識されている。

材料の表面自由エネルギーを下げた場合の平坦な面における  $\theta$  は、 $120^\circ$  が限界とされている<sup>4)</sup>。しかし、自然界には、ハスやサトイモの葉のように、表面形状が特殊で高い撥水性能を発揮しているものもある。写真-1 にハスの葉の電子顕微鏡写真を示す。表面には太さが  $5\sim 9\ \mu\text{m}$  サイズの突起があり、突起の先端は  $\text{nm}$  サイズの枝分かれ状の構造を有している。また、突起の立っている場所自体にも複雑な凹凸構造があり、水滴はハスの葉の上では水銀のように転がり、葉を濡らすことはない<sup>5)</sup>。

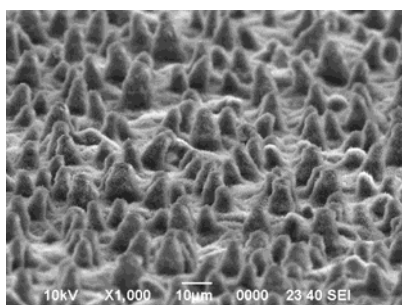


写真-1 ハスの葉の電子顕微鏡写真

ところで、図-1 のような、平坦な固体表面上においては、固体の表面張力  $\gamma_S$ 、液体の表面張力  $\gamma_L$ 、水と固体の間の界面張力  $\gamma_{SL}$  のつり合いによって、固体と液体がなす角  $\theta$  は、(1) の Young 式で説明される。

$$\cos \theta = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}}{\gamma_L} \quad (1)$$

また、図-2 のような、固体表面が比較的凹凸構造の小さい粗面を有し、その上に置かれた液体が固体表面と完全に接触する場合、見掛けの接触角  $\theta_R$  について、(2) の Wenzel 式が提案されている<sup>6)</sup>。R (表面積係数) は固体表面の粗さを示し、 $R = \text{実際の表面積} / \text{みかけの面積}$  ( $R \geq 1$ ) である。

$$\cos \theta_R = \frac{R(\gamma_S - \gamma_{SL})}{\gamma_L} = R \cos \theta \quad (2)$$

一方、溝が深い凹凸構造を有し、図-3 のように、液面が入り込めない多数の空隙の存在によって点接触をしている場合の見掛けの接触角  $\theta_R$  については Cassie と Baxter による(3)の Cassie-Baxter 式が提案されている<sup>7)</sup>。ここで  $f$  は接触面積中の点接触面積の割合である。

$$\cos \theta_R = f - 1 + f \cos \theta \quad (3)$$

なお、空気相と水の接触角が  $180^\circ$  になるような条件を満たす理想的な面とはフラクタル面であり、フラクタル次元の高い擬似フラクタル表面を製造するための様々な技術が開発されている。

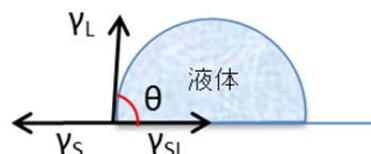


図-1 Young による濡れと接触角の定義

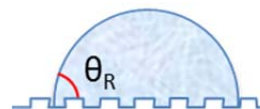


図-2 Wenzel による粗面の濡れ

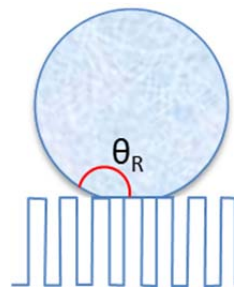


図-3 Cassie-Baxter 理論の片方の物質を空気とみなす場合の模式図

### 2.2 型枠表面の超撥水機構

ハスの葉の表面構造をヒントに、ヨーグルトの蓋を開封した際に、ヨーグルトを蓋面上で撥き、蓋に付着させない撥水加工技術が、包装業界において、実用化されている<sup>8)</sup>。写真-2 は、その蓋の断面の電子顕微鏡写真である。ヨーグルトの蓋のホットメルト表面に、微細な空気を含んだ三次元網目状構造を、超撥水機構を有する膜として形成することで、写真-3 のような  $170^\circ$  以上の超撥水性を実現している。

本研究では、この撥水加工技術をコンクリート用型枠に応用した。写真-4は通常の塗装合板にセメントスラリーを滴下した状況であり、写真-5は撥水加工した塗装合板に、セメントスラリーを滴下した状況である。撥水加工により、セメントスラリーが浮き上がっている様子が見える。

写真-6に、撥水加工の有無による水の接触角の観察結果を示す。液滴の接触角は、撥水加工していない場合は  $79.7^\circ$  であるのに対し、撥水加工した場合は  $152.5^\circ$  であり、超撥水性を有していた。

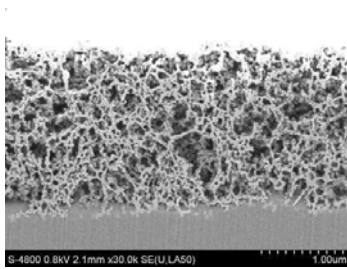


写真-2 ヨーグルトの蓋の断面の電子顕微鏡写真

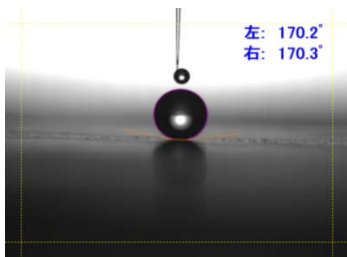


写真-3 ヨーグルトの蓋の裏面の接触角

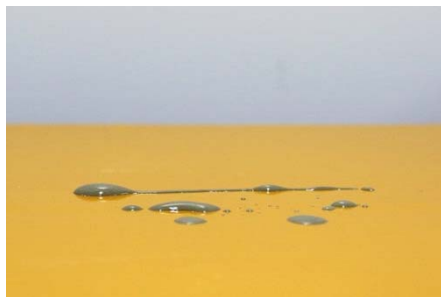


写真-4 セメントスラリーの撥水状況（塗装合板）



写真-5 セメントスラリーの撥水状況（超撥水加工した塗装合板）

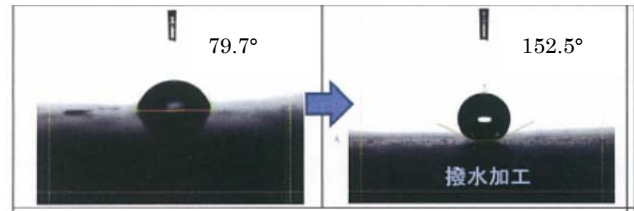


写真-6 撥水加工の有無による接触角の違い（コンクリート型枠用塗装合板）

### 3. 超撥水機構を有する型枠による効果の検討

#### 3.1 実験の概要

セメントスラリーの撥水状況から判断して、超撥水機構を有する型枠は、打込み時にフレッシュコンクリートを弾くため、型枠面が汚れず、コンクリート面は、きれいに仕上がると考えられる。また、型枠にもコンクリートが付着しないため、型枠の転用回数が向上すると考えられる。

そこで、コンクリートの配（調）合を変え、撥水加工の有無によって、コンクリート表面の外観がどのように変化するか、また、型枠の転用の影響について確認することとした。

#### 3.2 実験計画

コンクリートの使用材料を表-1に、配（調）合およびフレッシュコンクリートの試験結果を表-2に示す。撥水加工した塗装合板と未加工の塗装合板を向かい合わせにして内寸  $300 \times 300 \times 100 \text{mm}$  の型枠を製作し、コンクリートを2層に分けて打ち込んだ。突き棒による突きは各層30回ずつ、木槌による叩きは片側ずつ6回行い、締め固めた。脱型は材齢4日に行い、脱型後のコンクリート表面と型枠表面を写真撮影した。

また、24-12-20Nの配（調）合に関しては、撥水加工した鋼板と未加工の鋼板を向かい合わせにして内寸  $300 \times 300 \times 100 \text{mm}$  の型枠を製作し、型枠を鋼板とした場合の検討も行った。さらに、この配（調）合に関しては、転用に関する検討も行った。

表-1 使用材料

種類	記号	材料
セメント	NC	普通ポルランドセメント 3.16g/cm <sup>3</sup>
	MC	中庸熟ポルランドセメント 3.21g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	千葉県市原市産 山砂 2.60g/cm <sup>3</sup>
	S2	栃木県佐野市産 石灰砕砂 2.67g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	栃木県佐野市産 石灰岩砕石 2.70g/cm <sup>3</sup>
混和剤	AD	AE減水剤（呼び強度33以下に使用）
	SP	高性能AE減水剤（呼び強度36以上に使用）

表-2 コンクリートの配(調)合およびフレッシュ試験結果

呼び方	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )						フレッシュ試験結果		
				NC	MC	W	S1	S2	G	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
24-12-20N	12	4.5	60.0	287	-	172	475	316	1053	12.5 13.5*	4.5 4.7*	21 14*
24-18-20N	18	4.5	60.0	308	-	185	519	346	926	18.0	4.2	21
42-18-20N	18	4.5	41.3	412	-	170	457	305	983	18.5	3.8	21
60-60-20M	60**	3.0	31.7	-	536	170	462	308	915	63.5**	2.5	22

\*2回目(転用時) \*\*スランプフロー

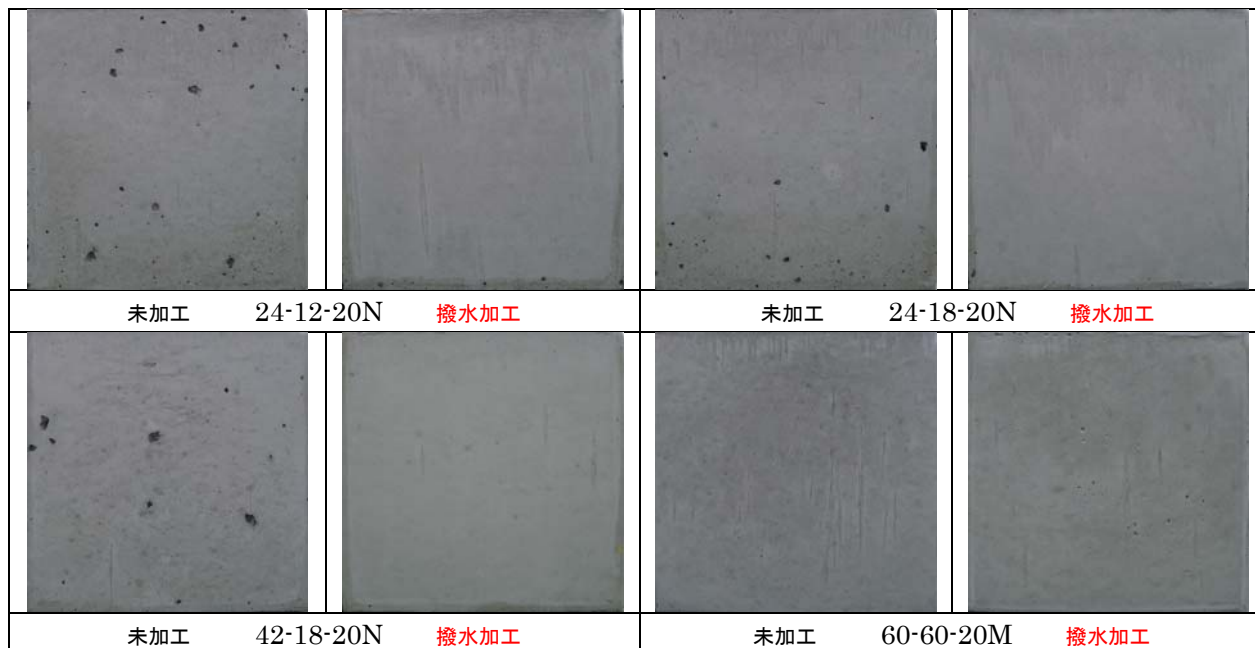


写真-7 塗装合板を用いた場合の撥水加工の有無によるコンクリート面の違い

### 3.3 実験結果および考察

塗装合板を用いた場合の撥水加工の有無によるコンクリート表面の外観の違いを写真-7に示す。調合の違いによらず、撥水加工した塗装合板の方が、未加工のものよりも、コンクリートの表面気泡や色ムラが少ない傾向にあった。ただし、高強度高流動コンクリートである60-60-20Mの配(調)合での差異はほとんどなかった。

鋼板を用いた場合の撥水加工の有無によるコンクリート表面の外観の違いを写真-8に示す。撥水加工した鋼板の接触角も、撥水加工した塗装合板と同様に150°程度であり、塗装合板を用いた場合と同じく、表面気泡や色ムラは未加工のものとは比べ、減少した。なお、未加工の鋼板では、気泡の数は塗装合板を用いた場合よりも、幾分多い印象を受けたが、油性の剥離剤を塗布しており、その影響もあると考えられる。

転用後のコンクリート表面の外観の違いを写真-9に示す。塗装合板の場合も鋼板の場合も、撥水

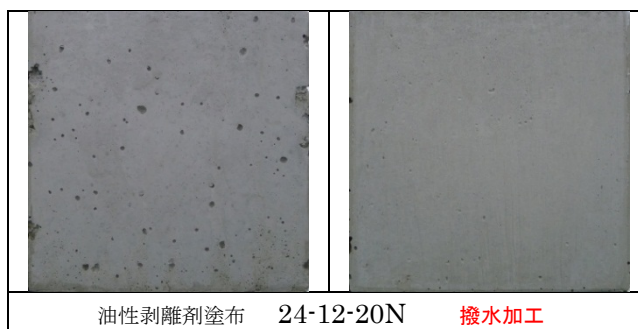


写真-8 鋼板を用いた場合の撥水加工の有無によるコンクリート面の違い

加工したものの方が、未加工のもののように、ケレンや剥離剤の塗布といった処理をしなかったにもかかわらず、表面気泡は少なかった。ただし、転用していない場合と比べると、表面気泡の抑制効果は低下していた。写真-10に示すように、撥水加工した鋼板の表面の状態は、1回目の使用後と2回目の使用後では明らかに異なり、2回目の使用後には撥水加工が全体的に剥がれている様子が認められ、これ以上の転用は厳しい印象であった。

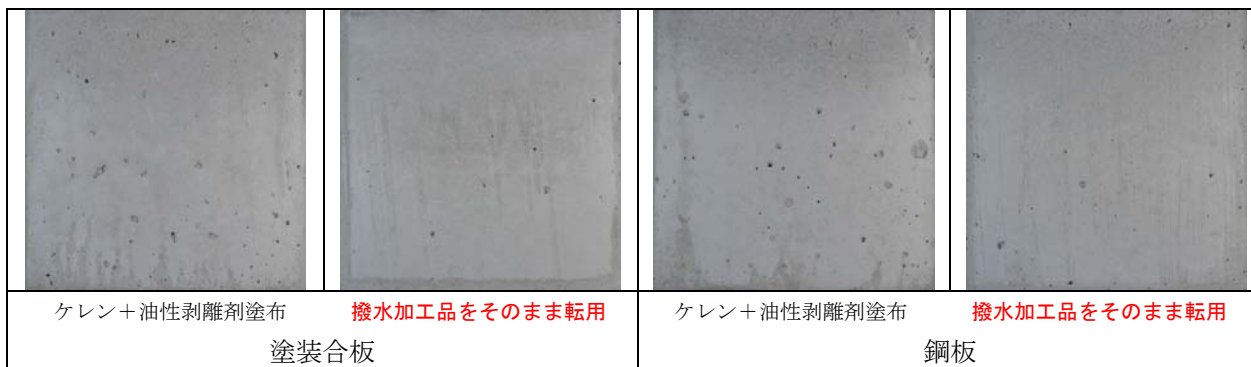


写真-9 撥水加工の有無による転用後のコンクリート面の違い

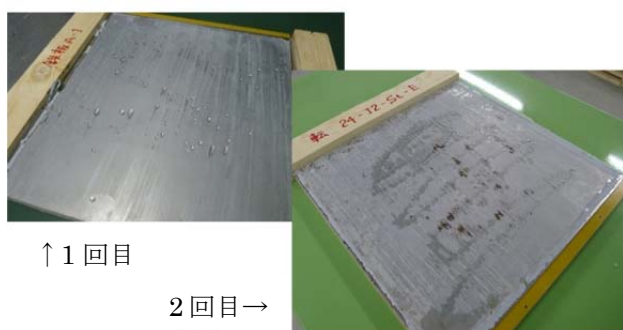


写真-10 脱型後の撥水加工鋼板

#### 4. 超撥水機構を有する型枠による表面気泡の抑制メカニズムの検討

##### 4.1 実験の概要

超撥水機構を有する型枠を用いれば、一部のコンクリートを除き、コンクリート表面の気泡が明らかに抑制されることが3章の検討において示されたが、そのメカニズムについては明らかでない。

そこで、型枠の接触角を変え、撥水性が脱型後のコンクリート表面気泡の発生に与える影響について検討することにした。また、超撥水機構を有する型枠を使って、型枠の超撥水性が界面の気泡の挙動に与える影響を視覚的に検証することにした。

##### 4.2 実験計画

###### 1) 型枠の接触角の違いに関する検討

接触角を約 10°、約 25°、約 80°、約 90°、約 100°、約 110°、約 120°、約 130°、約 140°、約 150°、150° 超としたものを内寸 300mm×300mm×100mm の型枠の側面の一つとし、コンクリートを打ち込んだ。

コンクリートの打込み・締固め方法は 3.2 節と同じである。

接触角約 10°は塗装合板に親水性のコート材による加工を行った。約 25°はガラス板そのもの、約 80°は塗装合板そのものとし、接触角約 90°以上の場合、塗装合板に塗布する超撥水性のコート材の濃度を変えて所定の接触角となるように調整した。

コンクリートの配（調）合およびフレッシュ試験結果を表-3 に示す。なお、使用材料は表-1 と同じである。

材齢 4 日後に型枠を脱型し、コンクリートの表面気泡率を求めた。表面気泡率は、直径 1mm 以上の表面気泡を対象として OHP シートに写し取り、黑白の二値化処理後の画像解析結果から、気泡部分の面積の和を、全体の面積で除して算出した。

###### 2) 超撥水加工した型枠界面における気泡の挙動

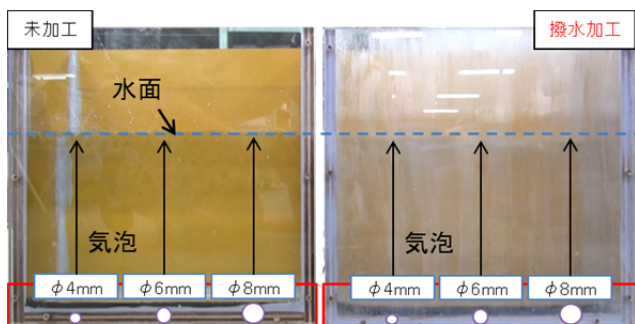
写真-11 に示すような、内寸 300mm×300mm×100mm の型枠の側面の一つをアクリル板とした型枠を 2 セット準備し、一方の型枠のアクリル板の表面に撥水加工を行い、超撥水性を付与した。

いずれの型枠にも、底面から連続的に気泡を発生する装置（60mm 間隔に φ4mm、φ6mm および φ8mm の孔）を取り付け、水を型枠の 2/3 程度まで満たし、コンプレッサーを用いて双方の空気圧が同じとなるように空気を送り込み、型枠を鉛直面に対して約 15° 傾けて、アクリル板と水の界面における、超撥水の有無による気泡の挙動の違いを観察した。

また、水の代わりに、表-3 のコンクリートを打ち込み、水を用いた場合と同様に、超撥水の有無による気泡の挙動の違いを観察した。

表-3 コンクリートの配（調）合およびフレッシュ試験結果

呼び方	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						フレッシュ試験結果		
				NC	MC	W	S1	S2	G	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
30-18-20N	18	4.5	53.6	318	-	170	519	346	959	18.0	4.6	16



型枠面に連続的に気泡を出す装置を設置  
写真-11 脱泡メカニズムの検証実験

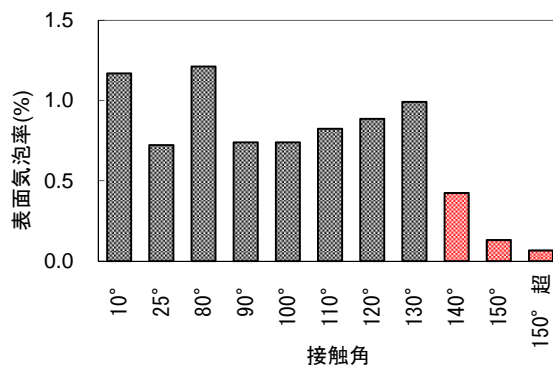


図-4 型枠の接触角と表面気泡率との関係

### 4.3 実験結果および考察

#### 1) 型枠の接触角の違いの影響

接触角と表面気泡率の関係を図-4に、脱型した評価面の外観の一部を写真-12に、それに対応する表面気泡の拡大写真を写真-13に示す。接触角約80°の塗装合板を基準とすると、表面気泡率は接触角が約90°～約130°で20～40%程度、約140°で65%程度、150°以上で90%以上低減されることを確認した。

接触角約90°～約130°では接触角が大きくなるにつれ、表面気泡率は増加しているが、これは接触角の増加に伴って形成される気泡の形状が浅く平坦なものに変化し、気泡面積が増加したためではないかと推測される。接触角が140°になると、表面気泡率は大きく減少し、150°を超えるとほとんど気泡も色ムラもない良好な仕上がりとなった。

#### 2) 型枠界面の気泡の挙動

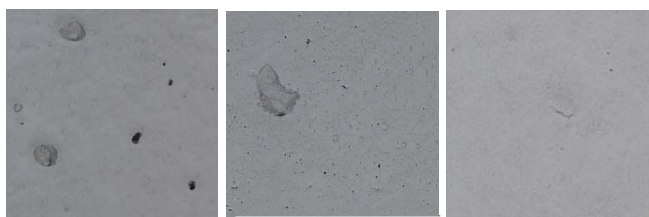
写真-14に空気の水面からの脱泡状況の違いを、写真-15に空気のコンクリート面からの脱泡状況の違いを示す。いずれも型枠上方から、型枠界面の部分を撮影したものである。

写真-14より、アクリル板と水との界面に達した気泡は、未加工の場合は界面上面に泡として多数確認されるのに対し、撥水加工している場合は泡として滞留することなく、空気中に放出されている様子がわかる。つまり、超撥水機構を有する型枠界面に達した気泡は界面に広がるように上方に抜けていくため、気泡として残りにくいということを意味していると考えられる。

また、写真-15でも、未加工のアクリル板ではコンクリートが付着し、気泡の脱泡やその痕跡が認められるのに対し、撥水加工したものでは、そうした状況は確認できなかった。また、いずれのケースにおいても、気泡を発生する装置の孔の寸法による脱泡状況の違いは特に認められなかった。



接触角約80° 接触角約130° 接触角150°超  
写真-12 表面気泡



接触角約80° 接触角約130° 接触角150°超  
写真-13 表面気泡の拡大写真



写真-14 撥水加工の有無による脱泡状況（水）

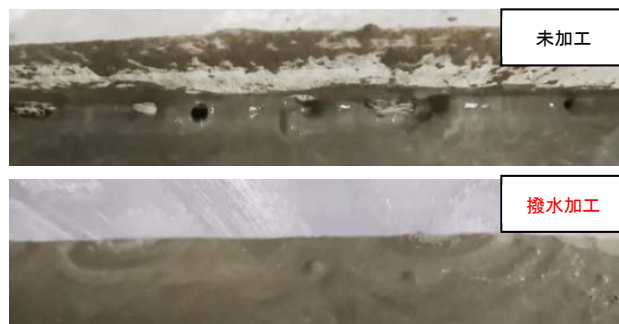


写真-15 撥水加工の有無による脱泡状況（コンクリート）

## 5. 勾配を有する型枠における表面気泡の抑制効果の検討

### 5.1 実験の概要

勾配のあるコンクリート面には、表面気泡が生じやすいとされている。これは、勾配を有する型枠では、勾配が緩くなるほど、コンクリートに蓋をするような形になり、気泡やブリーディング水が上面から抜けにくいからである。

そこで、勾配を有する型枠に対する、超撥水による気泡抑制効果について、型枠の勾配を変えて検討することにした。合わせて、ボックスカルバートの壁のハンチ部を模擬した小型試験体に関する検討も行うこととした。

### 5.2 実験計画

#### 1) 浮き型枠の勾配の影響に関する検討

塗装合板（300×300mm）の半分だけに、写真-16に示すように撥水加工を施し、写真-17のように、水平面に対する（浮き）型枠の角度を15°、30°、45°、60°、75°および90°（鉛直）と変え、突き棒による突きと、木植による叩きを十分に行って、硬化後のコンクリートの表面気泡率を比較した。

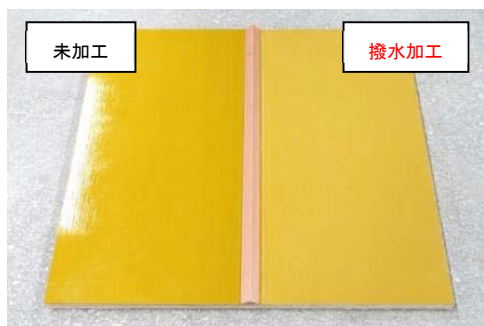


写真-16 試験に使用した型枠

使用したコンクリートの配（調）合およびフレッシュ試験結果を表-4に示す。なお、使用材用は表-1と同じである。

#### 2) ハンチ部を模擬した試験体による検討

ハンチ部を模擬した小型の型枠を2体準備した。いずれも塗装合板（600×300mm）の半分だけに撥水加工を施し、水平面に対する角度を45°の浮き型枠とし、写真-18のようにコンクリートを打ち込み、脱型後に撥水加工の有無によるコンクリートの表面気泡率の違いを検討した。

使用したコンクリートは表-4と同じである。なお、1体については棒状パイプレタによる通常の締固めと木植による叩きを行い、残りの1体については棒状パイプレタによる締固めのみとし、木植による叩きを行わなかった。

### 5.3 実験結果および考察

#### 1) 浮き型枠の勾配の影響

図-5は、水平面に対する角度が15°と45°の場合のコンクリート表面の気泡を黒く塗りつぶした二値化処理画像である。撥水加工した場合でも、表面気泡は残るが、明らかに少ないことがわかる。

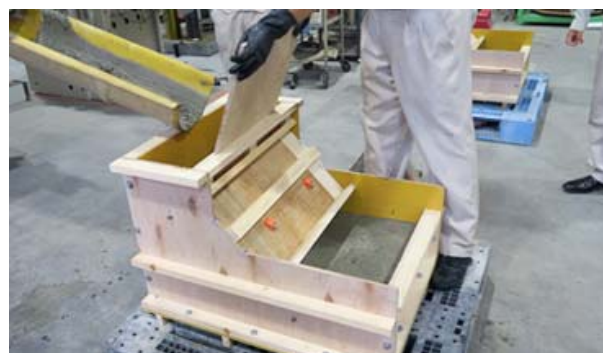


写真-18 ハンチ部を模擬した型枠への打ち込み

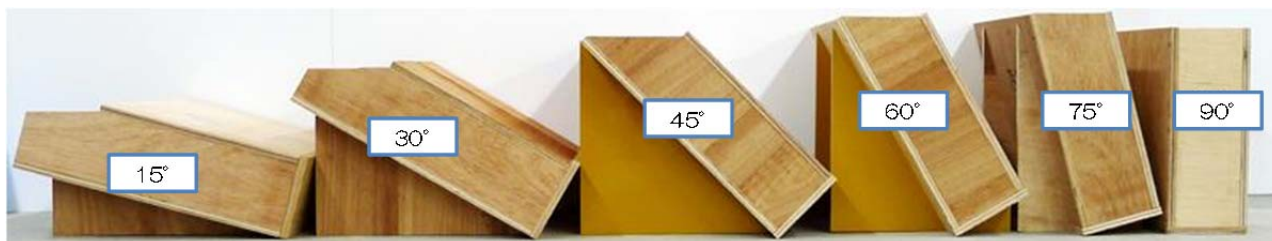


写真-17 撥水加工の有無による脱泡状況

表-4 コンクリートの配（調）合およびフレッシュ試験結果

呼び方	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						フレッシュ試験結果		
				NC	MC	W	S1	S2	G	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
30-12-20N	18	4.5	52.3	329	-	172	443	296	1072	11.0	4.1	24

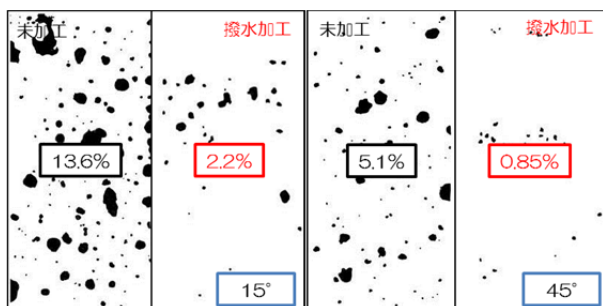


図-5 勾配の異なる型枠による表面気泡の違い

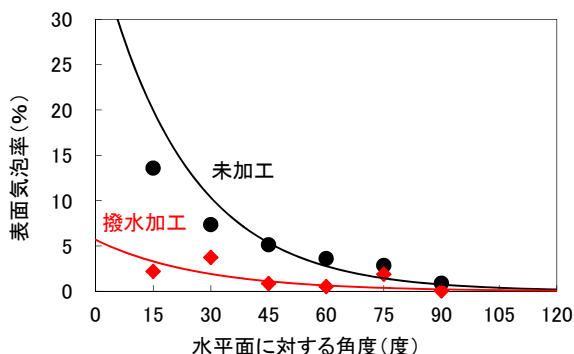


図-6 (浮き) 型枠の角度と表面気泡率の関係

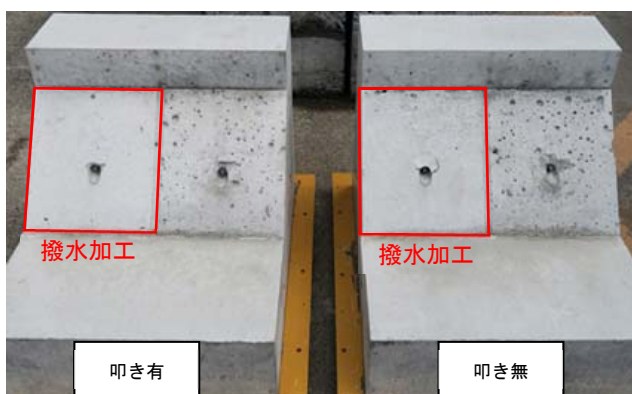


写真-19 脱型後のハンチ部模擬試験体の外観

表-5 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
表面粗さ Ra (μm)	ミットヨ製サーフテスト SJ-210 を使用 測定力 0.75mN、基準長さ 2.5mm (縦・横)
光沢度	光沢計 HORIBA 製 IG-320 を使用 (波長 880nm)。測定範囲は 12×6mm の楕円
明度 L*	色彩色差計 KONICA MINOLTA 製 CR-410 を使用。測定範囲は φ50mm の円

注) 試験はいずれも、撥水加工した型枠を用いた面と、未加工の型枠を用いた面のそれぞれ横方向3×高さ方向5の15箇所について実施し、平均値と標準偏差を求めた

水平面に対する(浮き)型枠の角度と表面気泡率の関係を図-6に示す。撥水加工した塗装合板を

使った場合の表面気泡率は、勾配が小さいほど、表面気泡の抑制効果が顕著になる傾向にあった。

## 2) ハンチ部における気泡抑制効果

脱型後のコンクリートの外観状況を写真-19に示す。叩きの有無にかかわらず、撥水加工した部分で表面気泡の明らかな減少が確認できた。ただし、叩きを行わなかった場合、奥行きが浅く平坦な気泡が複数認められることから、表面気泡の除去に叩きが重要であることが改めてわかった。

## 6. モックアップおよび試験施工による検討

### 6.1 実験の概要

前章までの室内実験レベルの小型試験体を用いた検討において、超撥水機構を有する型枠の使用が、コンクリートの美観向上に効果があることが示された。しかしながら、実際の施工においては、実大サイズの型枠への撥水加工が必要であり、コンクリートの打込みや締固めもダイナミックなものになるため、十分な効果が得られない可能性も考えられる。

そこで、壁部材を想定したモックアップと開削トンネルのボックスカルバート側壁の下ハンチ部を対象とした試験施工を実施し、実施工レベルでの美観向上の効果について検証することにした。

### 6.2 実験計画

#### 1) 壁部材を想定したモックアップ

モックアップの壁部材は、高さ 1.8m、幅 1.8mで、壁厚を 200mm とした。0.9×1.8mの撥水加工した塗装合板と未処理の塗装合板を並べ、間に目地棒を設置して試験面の型枠とし、コンクリートを3層に分けて打ち込み、1層ずつ棒状パイプレータと木槌で締め固めた。材齢5日で脱型し、材齢91日まで屋内で保管し、表面気泡率を求め、表-5に示す試験を実施した。

コンクリートの配(調)合およびフレッシュコンクリートの試験結果を表-6に示す。使用材料は表-1と同じである。

#### 2) ハンチ部の試験施工

図-7に示すような、U型擁壁のハンチ部の45°浮き型枠に、2種類の撥水加工品(塗装合板に撥水加工したものと撥水加工したPETフィルムをエポキシ樹脂で貼り付けたもの)を用いて、施工時のコンクリートの打ち上がり状況と脱型後のコンクリート表面の仕上がりを観察した。

使用材料を表-7に、配(調)合およびフレッシュコンクリートの試験結果は表-6に示す。



表-6 コンクリートの配(調)合およびフレッシュ試験結果

	呼び方	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					フレッシュ試験結果		
					NC	W	S1	S2	G	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
モックアップ	33-18-20N	18	4.5	50.8	335	170	506	338	964	19.0	4.9	28
試験施工	30-8-20N	8	4.5	50.8	335	170	609	159	1033	8.0-10.5	4.0-4.5	22-23

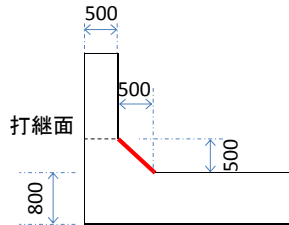


図-7 U型擁壁のハンチ部

表-7 使用材料

種類	記号	材料
セメント	NC	普通ポルトランドセメント 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	千葉県君津市産 山砂 2.58g/cm <sup>3</sup>
	S2	栃木県佐野市産 石灰岩砕砂 2.68g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	北海道北斗市産 石灰岩碎石 2.69g/cm <sup>3</sup>
混和剤	AD	AE減水剤

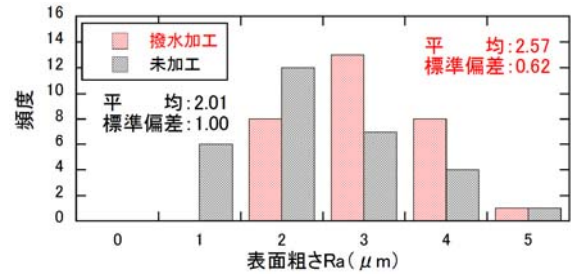


図-8 表面粗さのヒストグラム

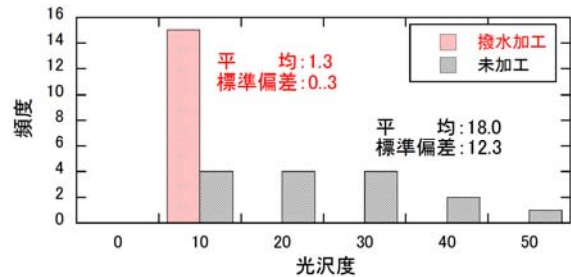


図-9 光沢度のヒストグラム



写真-20 脱型後のモックアップ外観

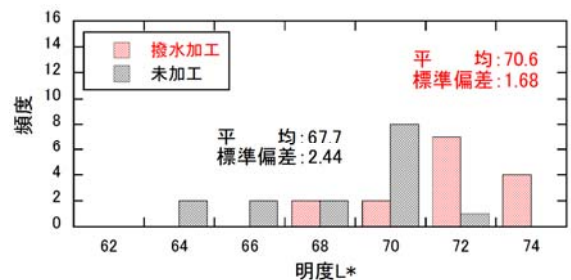


図-10 明度のヒストグラム

光沢度のヒストグラムを図-9に示す。撥水加工したものの光沢度は極めて小さく、表面粗さが比較大きくなり、均質化していることに起因して光が乱反射され、光沢度が小さくなったと考えられる。

図-10に明度L\*のヒストグラムを示す。撥水加工したものが全体に高く、ばらつきも幾分少ない。つまり、明度が上がり、色むらが少なくなっていることが数値上からもわかった。

#### 2) ハンチ部の試験施工

コンクリートの打込み前、打込み中の型枠面の状況と脱型後のコンクリート外観を写真-21に示す。打込み前の型枠に水を散布したところ、塗装合板に直接超撥水処理した型枠では、撥水性が低下している部分があった。その部分については、打込み中にコンクリートが型枠面に付着する現象が認められ、

### 5.3 実験結果および考察

#### 1) 壁部材を想定したモックアップ

モックアップの外観を写真-20に示す。撥水加工したものの表面気泡率は0.11%であり、未加工のもの0.63%と比べ、明らかに小さかった。

表面粗さのヒストグラムを図-8に示す。撥水加工したものの方が表面粗さRaは幾分大きかった。

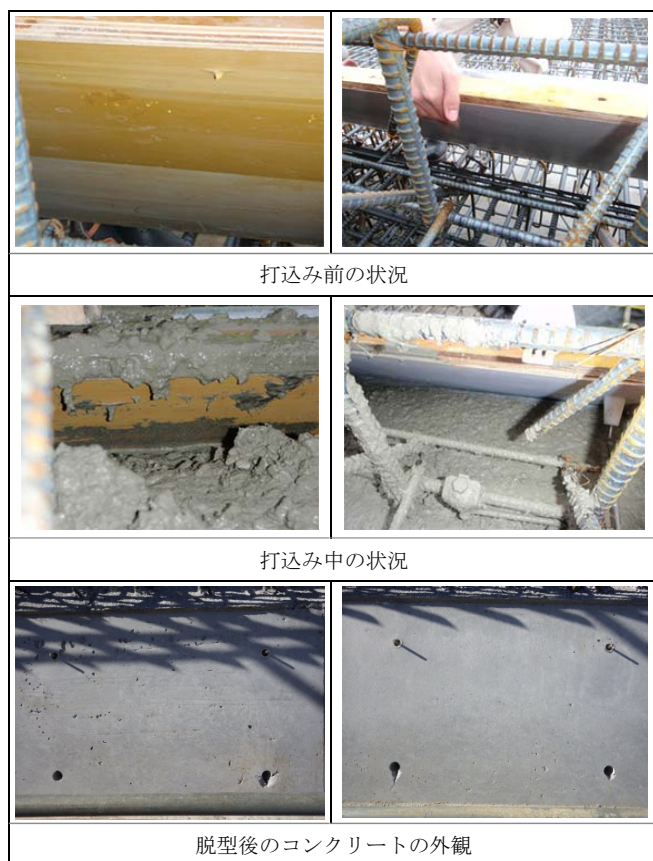


写真-21 試験施工の状況と結果  
(左：撥水加工，右：フィルム貼付け)



写真-22 撥水加工の剥がれとその部分の仕上がり

その結果、表面気泡が多くなった。一方、フィルムを貼り付けた場合には、同様の現象がわずかに確認されたが、概ね良好な仕上がりであった。

写真-22 に示すように、直接撥水加工した型枠では、撥水加工が帯状に剥がれた箇所があり、このような箇所では表面気泡を抑制できていなかった。このため、実施工においては撥水加工の保持力を増すなど、耐久性を高める必要があるものと考えられる。

## 7. まとめ

異業種における生物模倣技術を応用した超撥水技術に着目し、コンクリート型枠への適用について検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 型枠の材質の違いによらず、超撥水機構を有する型枠の使用によって、脱型後のコンクリートの表面気泡と色ムラは抑制された。なお、その効果は転用によって低下する。
- (2) 表面気泡の抑制効果が認められるのは接触角が140°以上の場合であり、150°を超えると、ほとんど気泡も色ムラもない仕上がりとなった。
- (3) 超撥水機構を有する型枠界面に達した気泡は界面に広がるように上方に抜けていくため、気泡として残りにくいと考えられる。
- (4) 勾配が小さいほど、超撥水機構を有する型枠による表面気泡の抑制効果は顕著になる傾向にあった。
- (5) 実施工を想定した実験においても、超撥水機構を有する型枠によるコンクリートの表面気泡と色ムラの抑制効果が確認できた。
- (6) 確実にコンクリートの美観を向上するためには、撥水加工の保持力を増すなど、施工時における耐久性を高める必要があるものと考えられる。

## 謝辞

本研究におけるコンクリート型枠への超撥水性の付与については共同研究先である東洋アルミニウム株式会社より多大なる協力を得ました。ここに記して心から御礼申し上げます。

## <参考文献>

- 1) Jean-Louis Cohen and Gerard Martin Moeller : “Liquid stone-New Architecture in Concrete”, Princeton Architectural Press (2006)
- 2) 藤井 聡 : “巻頭言／今年こそ「コンクリートから人へ」の方針を終焉させるべし”、セメント・コンクリート No.781, pp.3-5 (2012)
- 3) 辻埜真人 : “究極のひび割れ低減技術「ゼロシュリンク®」”, 新都市ハウジングニュース Vol.75, pp.6-7 (2014)
- 4) K. Watanabe, et al : J. Oleo Sci., 53, p.547 (2004)
- 5) 辻井 薫 : 超撥水と超親水ーその仕組みと応用ー, 産業図書, pp.62-64 (2009)
- 6) Wenzel, RN. : “Resistance of Solid Surfaces to Wetting by Water”, Ind. Eng. Chem. 28, pp.988-994 (1936)
- 7) Cassie ABD, Baxter S : “Wettability of porous surfaces”, Trans. Faraday Soc., 40, pp.546-551 (1944)
- 8) 西川浩之 : “機能性包材 撥水性包装材料 TOYAL LOTUS について”, 包装技術, 第49巻6号, 458-461 (2011)