

トンネル覆工コンクリート撥水型枠適用における表面美観向上に関する検討

佐藤工業（株） 正会員 ○豆田 憲章^{*1} 佐藤工業（株） 正会員 森濱 哲志^{*1}
 佐藤工業（株） 正会員 渡辺 晋吾^{*1} 佐藤工業（株） 正会員 北川 真也^{*1}
 佐藤工業（株） 正会員 斎藤 達也^{*1} 佐藤工業（株） 正会員 的場 栄次^{*2}
 佐藤工業（株） 正会員 宇野洋志城^{*2}

1. はじめに

近年、コンクリート表面の美観向上を目的に、型枠打設面に特殊なコーティングを行うことで、微細凹凸構造を付与し、その構造によって気泡を低減する技術が報告されている¹⁾。特殊コーティングには、たとえば、セラミックコーティングや撥水コーティングがある。これらのうち、撥水コーティングに関する技術については、他分野で多く適用されており、車のボディーやガラスの汚れ、衣類の濡れや汚れ、レインコートや傘などの汚れおよび電線などへの積雪・積氷等の防止目的で使用されている。ここで、撥水性とは、主に水をはじく効果を示しており、ロータス効果、または、ハスの葉効果と呼ばれている。撥水性の評価基準は、接触角（図-1）が挙げられており、接触角（ θ ）が高いほど撥水性が高く、接触角が150度以上の場合は超撥水性があるとされている²⁾。

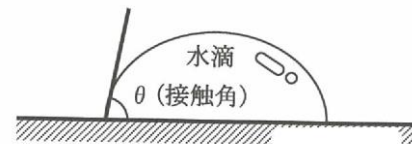


図-1 接触角（ θ ）²⁾

表-1 型枠表面塗布剤の接触角

型枠表面塗布剤	接触角（度）
剥離剤	—
超撥水剤 1	160～175
超撥水剤 2	150 以上
滑落剤	最大 100

コンクリート表面の気泡は、コンクリート面が傾斜していること、コンクリートの打込み時に巻き込まれたエントラップトエアが締め固め時に除去しきれなかったものが表面に残ることによって発生する。発生状況によっては、表面美観を損ね、劣化因子の侵入を容易にし、耐久性が低下するなどの問題が生じることがある。

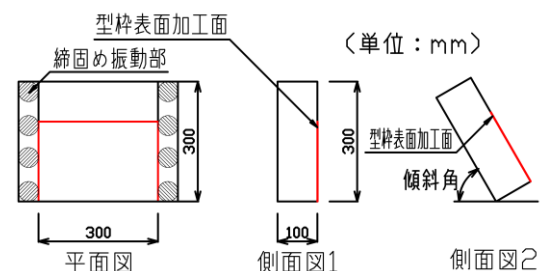


図-2 試験体寸法および型枠傾斜角

筆者らは、これらの問題を解決するため、撥水剤に着目し、トンネル覆工コンクリートスプリングライン下方を対象に表面美観向上について実験を行った。その実験結果について報告する。

2. 実験概要

本実験では、実際のトンネル覆工コンクリートを想定し、高炉セメント B 種を使用したコンクリートを用い、型枠面に剥離剤、撥水剤および滑落剤を適用し、脱型後におけるコンクリート表面の状態を比較検討する。

(1) 型枠表面塗布剤の概要

型枠表面塗布剤の概要を表-1に示す。今回使用した型枠表面塗布剤は剥離剤、超撥水剤 1、剥離剤+超撥水剤 1、超撥水剤 2、滑落剤の 5 種類である。

(2) 試験体の概要

試験体の概要を図-2に示す。試験体の平面寸法は、幅 300mm、高さ 300mm、奥行き 100mm とした。試験体作製はコンクリート表面の傾斜の影響を考慮するため、型枠の傾斜角を水平面（以下、型枠傾斜角）に対し、0 度、

キーワード 撥水性、トンネル、覆工コンクリート、表面美観、表面気泡

連絡先 *1 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19 佐藤工業（株） 土木事業本部 設計部 TEL：03-3661-1572

*2 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 佐藤工業（株） 技術研究所 TEL：046-270-3091

表-2 実験ケース

型枠傾斜角 (度)	剥離剤		超撥水剤1		剥離剤+超撥水剤1		超撥水剤2		滑落剤	
	配合A	配合B	配合A	配合B	配合A	配合B	配合A	配合B	配合A	配合B
0	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
30	○	—	○	—	○	—	—	○	—	○
60	○	—	○	—	○	—	—	○	—	○
90	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—

表-3 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

配合		W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					スランプ (cm)	空気量 (%)	打込み温度 (°C)
				W	C	S	G	Ad			
配合A	21-15-20BB	60	50.4	171	285	912	910	2.85	13.5	4.4	17.5
配合B	24-15-20BB	55	49.9	171	311	891	910	2.80	17.5	5.6	16.0

30 度, 60 度および 90 度の 4 ケースで行った. 実験ケースを表-2 に示す. コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-3 に示す. 配合強度で表すと配合 A は 21N/mm², 配合 B は 24N/mm²である. コンクリートの打込みは 3 層で行い, 締固めはゴムハンマーで型枠側部の同一点を 30 回叩いた. 脱型は打込み完了から 36 時間後とし, 実験室内 (20°C, 60%RH) にて気中養生を行った.

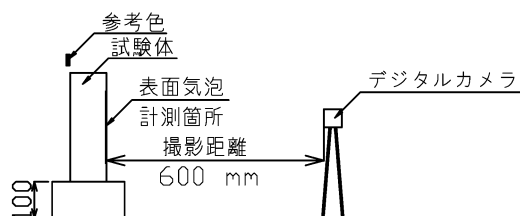


図-3 試験体の撮影方法

(3) 型枠表面塗布剤の違いによる表面の比較検討方法

型枠表面塗布剤の違いによるコンクリート表面の評価は, 表面に発生した気泡面積に着目し比較検討を行う. 表面気泡の測定は図-3 に示したようにデジタルカメラ (300 万画素) にて撮影し, 5mm 以上の直径を有する気泡を対象に計測を行った³⁾.

3. 実験結果および考察

(1) 脱型後におけるコンクリートの表面状態

脱型後におけるコンクリート表面の表面状態一覧を表-4 に示す. コンクリート表面に発生した気泡は, 型枠傾

表-4 脱型後におけるコンクリートの表面状態

型枠傾斜角(度)	剥離剤	超撥水剤1	剥離剤+超撥水剤1	超撥水剤2	滑落剤
0				—	—
30					
60					
90				—	—

斜角が大きくなるほど減少していることがわかる。これは、傾斜角が大きくなるほどコンクリート中の巻込み空気が抜けやすい状態になったためと考えられる。剥離剤+超撥水剤 1、超撥水剤 2 および滑落剤は、コンクリート表面に型枠表面塗布剤の付着が確認された。これは、コンクリート中の成分と型枠表面塗布剤に含まれる成分が何らかの化学反応を起こしたことによって生じたものと考えられる。超撥水剤 1 は、すべての傾斜角において他の型枠表面塗布剤より目視において表面気泡発生が少ないことから、表面の美観向上に効果的であると考えられる。

(2) 脱型後の型枠表面状態

脱型後における型枠の表面状態一覧を表-5 に示す。型枠表面には、型枠傾斜角が大きくなるほどセメントペーストの付着が減少している。剥離剤+超撥水剤 1、超撥水剤 2 および滑落剤は、型枠表面にセメントペーストの付着が多いため、コンクリート表面の状態が良くない。そのため、実構造物への適用は不可と考えられる。なお、超撥水剤 1 は、すべての傾斜角において型枠塗布施工表面へのセメントペーストの付着が無いことが確認でき、実構造物への適用が可能と考えられる結果となった。

(3) 表面気泡面積率による検討

図-4 に型枠傾斜角に対する表面気泡面積率の結果を示す。全てのケースにおいて、型枠傾斜角が大きくなるほど表面気泡面積率が小さくなる傾向を示している。型枠傾斜角ごとに着目した場合、60 度を除き、滑落剤、超撥水剤 2、剥離剤、剥離剤+超撥水剤 1、超撥水剤 1 の順で小さくなる傾向を示している。型枠傾斜角 90 度は、剥離剤、超撥水剤 1 および剥離剤+超撥水剤 1 のすべてにおいて表面気泡面積率がほぼ 0%であった。

以上の結果より、滑落剤および超撥水剤 2 については、脱型後における型枠塗布施工表面の状態も悪いため、実構造物への適用は不可と判断した。

ここで、剥離剤、超撥水剤 1 および剥離剤+超撥水剤 1 について比較検討を行う。剥離剤は、通常用いられる型枠表面塗布剤である。超撥水剤 1 および剥離剤+超撥水剤 1 の効果を確認するため、剥離剤の表面気泡面積率を基準とした場合について検討を行うこととし

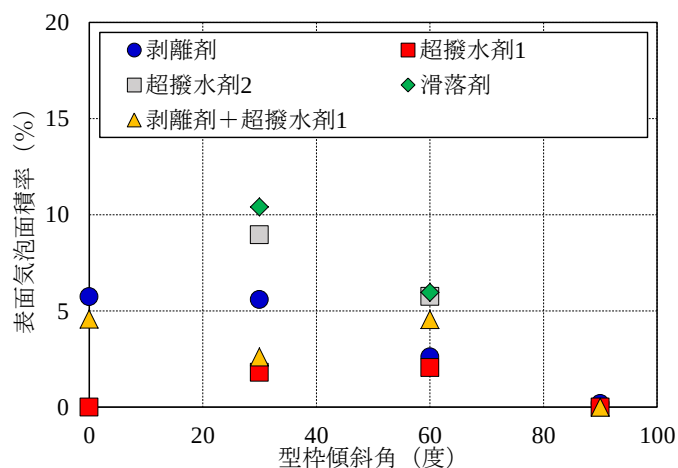


図-4 表面気泡面積率

表-5 脱型後における型枠の表面状態

型枠傾斜角(度)	剥離剤	超撥水剤1	剥離剤+超撥水剤1	超撥水剤2	滑落剤
0				—	—
30					
60					
90				—	—

た．図-5 に型枠傾斜角に対する表面気泡面積率比の結果を示す．表面気泡面積率比は，型枠表面塗布剤ごとに算出した表面気泡面積率を剥離剤の表面気泡面積率で除した比率である．超撥水剤 1 は，傾斜角 60 度のときに最も大きい結果であるが，傾斜角が小さくなるほど表面気泡面積率が小さくなる傾向を示している．傾斜角 30 度で約 0.4，傾斜角 60 度で約 0.8 といずれも剥離剤より小さく，表面気泡抑制に効果があることがわかる．剥離剤+超撥水剤 1 は，傾斜角が小さくなるほど表面気泡面積率も小さくなる傾向が確認できるが，傾斜角 60 度のときに約 1.8 と剥離剤より大きい結果を示している．

以上より，超撥水剤 1 を用いた場合が表面美観を向上させる効果があり，その他の材料については，美観を向上させるまでには至らない結果となった．

(4) 実物大実験

室内実験の結果より，超撥水剤 1 が最も効果があることがわかった．そこで，超撥水剤 1 を実構造物へ適用するため，実物大規模の実験を行った．実物大実験は，トンネル覆工コンクリートスプリングライン下方のセントルを使用した．型枠寸法は，幅 1500mm，高さ 1000mm，曲率半径 1510mm である．型枠下端における水平面に対する傾斜角は 49 度である．コンクリート配合は表-3 の配合 B を用いた．型枠脱型は，コンクリートの圧縮強度が 3N/mm^2 以上であることを確認した上で行った．写真-1 に実験結果を示す．超撥水剤 1 を塗布したコンクリート表面は，剥離剤を塗布したコンクリート表面より気泡が極めて少なく，表面美観に効果がある結果となった．また，写真-2 は，脱型後の型枠面に水を吹きかけた状況である．この状況より，撥水効果は継続していることを確認することができた．

4. おわりに

今回の実験結果より，超撥水剤 1 を実トンネルへ適用することを検討中である．また，転用回数や撥水剤を用いた場合における耐久性などについて検討を行う予定であり，今後報告する予定である．

参考文献

- 1) たとえば，依田ら：超撥水機構を有する型枠を用いたコンクリートの表面気泡の抑制効果，土木学会第 70 回 年次学術講演会，pp563-564，平成 27 年 9 月
- 2) 辻井薫ほか：超撥水・撥油発現の原理，撥水・撥油の技術と材料（普及版），シーエムシー出版，2008 年
- 3) 国土交通省 東北地方整備局：コンクリート構造物の品質確保の手引き（案）（トンネル覆工コンクリート編），平成 28 年 5 月

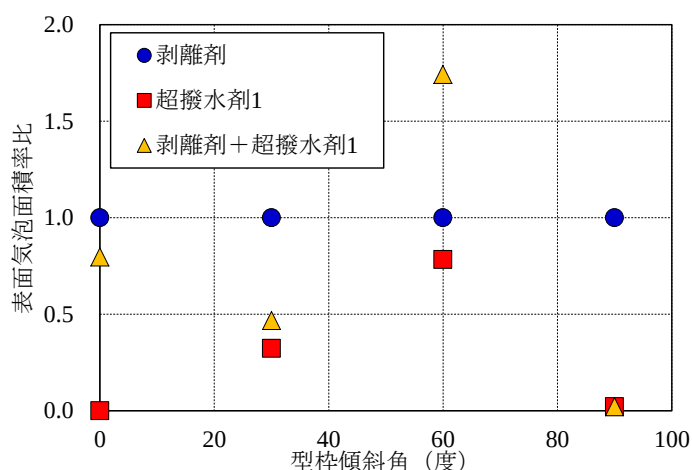


図-5 表面気泡面積率比（剥離剤基準）

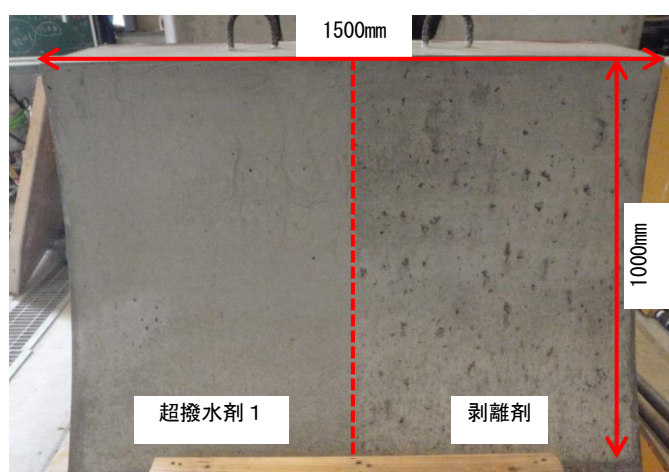


写真-1 実物大実験



写真-2 型枠塗布施工表面状況