

論文 繰返し使用が可能な樹脂性離型剤によるプレキャストコンクリートの表面品質改善に関する検討

小山 広光*1・崔 靖*2・高橋 楽*3・伊達 重之*4

要旨：プレキャストコンクリート製品の表面美観向上，効率的な生産性の確保，および製品製造作業環境の改善を目的として，繰返し使用が可能な樹脂性剥離剤の表面品質改善効果について検討した。試験の結果，樹脂性離型剤は試験室での蒸気養生を想定した環境下において 30 サイクルまでの使用が可能であり，従来の油性離型剤に比べてコンクリート表面の美観を損ねる気泡は 50%以下に低減し，その効果は繰返し使用においても持続することが確認された。

キーワード：プレキャストコンクリート，樹脂性離型剤，表面気泡，表面美観，接触角

1. はじめに

プレキャストコンクリート製品は工場で製造されることから高い品質を要求され，特に外観に関しては高いレベルの美観性が求められることが多い¹⁾。しかしながら，プレキャストコンクリートの外観に影響を及ぼす表面気泡や色むら等の発生は，様々な内外的および外的要因の影響を受けるため，一定の外観品質を確保することは困難である。特に表面気泡においては，既往の研究で様々な検討がなされているものの^{2)~6)}，セメントや骨材等の材料品質のばらつき，気温や気候の変動，離型剤の種類や塗布方法，コンクリートの打ち込み方法，バイブレータの種類や振動の与え方，養生条件等の影響を受けるため，細心の注意を払い製造を行ったとしても抑制することは極めて困難である。更に，プレキャスト製品の美観性を確保するため，外観を損ねる表面気泡については脱型後に工場作業員の手作業によって補修されることが一般的であり，昨今の人手不足の状況においては特に，生産者であるプレキャストメーカーの生産性確保に対して大きな負担となってきている。

一方，周知のようにプレキャストコンクリート製品の製造には鋼製型枠を使用するのが一般的であり，通常型枠内面には油性，若しくは水性の離型剤が用いられている。これらの離型剤は噴霧器等で型枠内面に噴霧された後に，モップやウエス等による拭き上げによって型枠面に均一に塗布されることが多いが，工場作業員の背丈の数倍の高さがあるプレキャスト製品においては，頭上から離型剤が噴霧され，工場内の空気が離型剤で充満されるような環境で作業を行わなければならないことも珍しくはないのが現状である。このような状況での作業によ

って工場作業員の作業服が汚染されるため，プレキャスト製品工場の作業環境は良いとは言い難く，新規の工場作業員，特に若年層の人員の採用を困難としている要因の一因となっている可能性がある。また，噴霧された離型剤によって皮膚に炎症が起こる場合もあり，継続的な作業員確保の足枷となることも考えられる。

このような背景から，筆者らはプレキャストコンクリート製品の表面美観向上，効率的な生産性の確保，および製造作業環境の改善を目的として，従来の離型剤に替わる繰返し使用が可能な樹脂性離型剤（2液型のポリウレタン系樹脂製）を新たに開発した。本報では，その表面品質改善効果に関する検討について報告する。

2. 試験概要

2.1 樹脂性離型剤の選定

既往の研究より，コンクリートの硬化後の表面気泡の発生は型枠表面の接触角の影響を大きく受けることから^{2),3),5)}，まずコンクリート表面に発生する気泡と接触角（水滴接触角）の関係を確認し，最適な樹脂性離型剤の選定を行った。

試験に使用した樹脂性剥離剤は界面活性剤にて接触角を調整し，膜厚が $200 \pm 25 \mu\text{m}$ となるように所定量測り取り，縦 150mm×横 150mm の鋼板の上に流し込んだ後に金ゴテで均一に塗布し，20℃環境の試験室で 24 時間静置し硬化させた。硬化後，樹脂性離型剤の膜厚を膜厚計（ケット社製デュアルタイプ膜厚計 LZ-990）にて確認し，接触角は接触角計（KINO 社製 SL200KB）にて測定を行った。

試験に使用したコンクリートは，セメントに普通ボル

*1 BASF ジャパン株式会社 建設化学品事業部 技術開発センター (正会員)

*2 BASF ジャパン株式会社 建設化学品事業部 技術開発センター Ph.D.

*3 東海大学大学院 土木工学専攻

*4 東海大学工学部 土木工学科 教授 博士(工学) (正会員)



図-1 離型剤選定試験に使用した型枠

表-1 コンクリート配合

水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
30	2.0	42	165	533	704	1002
40	2.0	47	160	400	841	973
50	2.0	48	160	330	880	981

表-2 試験条件

パラメータ	水準
水セメント比 (%)	30, 40 [*] , 50
バイブレータ振動時間 (秒)	60 [*] , 30
混和剤種類 (主成分)	ポリカルボン酸エーテル系化合物 (PCE) [*] PAE 化合物 (PAE)

※特に記載がない場合は下線の条件で試験を実施

トランドセメント (密度 3.16g/cm³), 細骨材に大井川水系陸砂 (表乾密度 2.58g/cm³, 粗粒率 2.70%), 粗骨材に青梅産硬質砂岩砕石 (表乾密度 2.65g/cm³, 最大寸法 20mm) を用いた。表面気泡のばらつきを抑制させるため, 水セメント比を 27%, 細骨材率を 50% とし, 混和剤にはプレキャストコンクリート用の高性能減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系) を用い, コンクリートのスランプフローが 650±50mm, 空気量が 2.0±1.5% となるように混和剤添加量で調整した。表面気泡観察のためのコンクリート試験体は, コンクリートの曲げ試験で用いられる W150mm×H150mm×D530mm の鋼製型枠を使用して作製した。型枠内側の側面に樹脂性離型剤を塗布した鋼板を複数枚設置した後に (図-1 参照), 型枠内にコンクリートを 2 層に分けて打ち込み, 各層においてテーブルバイブレータによる振動締固めを 10 秒間行った。20℃ 環境の試験室で 24 時間養生を行った後に脱型を行い, 表面気泡を確認した。

表面気泡については, コンクリート硬化体側面をデジタルカメラで撮影し, 画像データから切り出した領域 (縦 125mm×横 125mm) を画像処理ソフトウェアで二値化し⁵⁾, 表面気泡面積率を算出して評価を行った。

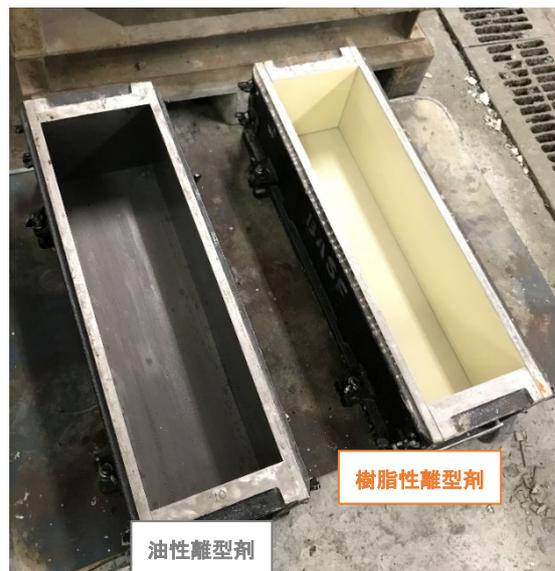


図-2 コンクリート表面性状評価に使用した型枠

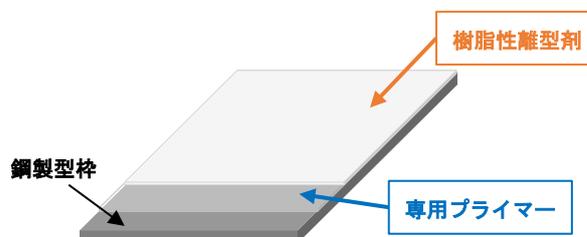


図-3 プライマーおよび樹脂性離型剤の概要図

2.2 樹脂性離型剤の繰返し使用性およびコンクリート表面性状の評価

樹脂性離型剤の繰返し使用性, およびコンクリートの表面品質への影響を確認するため, 樹脂性離型剤を塗布した型枠を用いて作製したコンクリート試験体にて各種試験を行った。

図-2 にコンクリート試験に使用した型枠の状況を示す。W150mm×H150mm×D530mm の鋼製型枠内面に, 2.1 の試験で選定された樹脂性離型剤を塗布した。なお, 高温養生環境においても樹脂性剥離剤が鋼製型枠から剥離を生じずに繰返し使用性を保持させるため, 専用プライマー (エポキシ樹脂系) を下地として使用した (図-3 参照)。専用プライマーおよび樹脂製型枠の塗装については, 鋼製型枠の側枠および底盤を外した後に水平に静置し, ローラーにて塗布を行い, それぞれ塗装後は 20℃ 環境の試験室で 24 時間養生させた。塗膜厚さはプライマーおよび樹脂性離型剤のいずれも 200±50 μm とした。

表-1 に試験に使用した材料および配合を示す。試験に使用したコンクリートは実際のプレキャストコンクリートの製造に近い条件とするため, 2.1 の試験と同じ使用材料で, 高性能減水剤の添加量によってスランプが 21

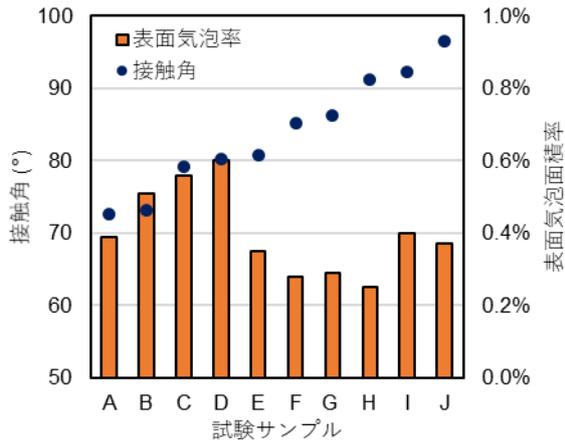


図-4 樹脂性離型剤の接触角および表面気泡面積率

±1.5cm, 空気量が $2.0 \pm 1.5\%$ となるように調整した。型枠内にコンクリートを2層に分けて打ち込み, 各層においてテーブルバイブレータによる振動締固めを行い, コンクリート打ち込み後は恒温恒湿層で蒸気養生を想定した養生(前置き1.5時間, 昇温 $20^\circ\text{C}/\text{h}$, 最高温度 $60^\circ\text{C} \cdot 3$ 時間, 降温 $10^\circ\text{C}/\text{h}$, 湿度 98%)を施し, 打ち込みから17時間後に脱型した。

30サイクルまで試験体作製を繰り返し実施し, それぞれのサイクルにおいて樹脂性離型剤およびコンクリート表面の状況について, 目視による確認, 表面気泡率の測定, 明度測定, 表面強度測定, および光沢度測定を行った。気泡面積率においては, 表-2に示す実験要因(水セメント比, 振動時間, 混和剤種類)を変化させた場合について, それぞれ5サイクルの繰返し試験における各種要因による影響を確認した。いずれの試験においても対比として従来型の油性離型剤についても行い, 油性離型剤は型枠を脱型・清掃した後に毎回塗布した。

表面気泡面積率は, 2.1の試験と同様の方法で, 1試験体当たり側面の画像ファイルより縦140mm×横140mmの領域をそれぞれ3箇所×2面(計6か所)を抜き出し, 画像処理ソフトウェアで二値化して表面気泡率を算出し評価を行った。

明度, 表面強度, および光沢度においては, 15サイクル目までの試験体を材齢14日まで気中養生した後に測定した。明度は既往の研究を参考に⁹⁾, 試験体の脱型から1週間経過した後に色彩色差計(コニカミノルタ社製CR-410)にて試験体1側面につき14か所を測定した。表面強度は, ひっかき試験器(日本建築仕上学会式)によって一試験体につきそれぞれ底面の3か所を測定し, ひっかき傷幅にて評価を行った。光沢度は, 光沢計(スガ試験機社製GM-1)を用いて1試験体につきそれぞれ底面の10か所を測定した。

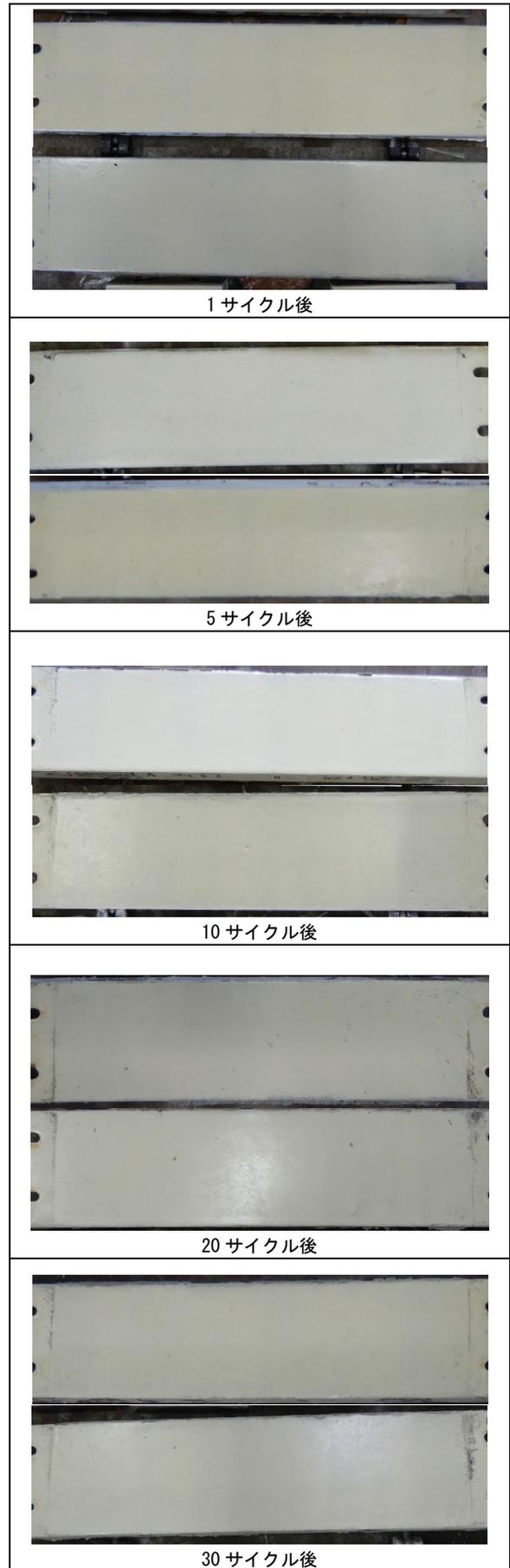


図-5 樹脂性離型剤を塗布した型枠の状況写真

サイクル数	樹脂性離型剤	油性離型剤
1		
5		
10		
20		
30		

図-6 コンクリート試験体側面の外観写真

3. 実験結果および考察

3.1 樹脂性離型剤の選定

試験は、界面活性剤にて樹脂性離型剤の接触角を調整した10種類の試験サンプル(A~J)について実施した。図-4にそれぞれの試験サンプルの接触角、および表面気泡面積率を示す。接触角が80°付近までは、接触角が大きくなるにつれ表面気泡面積率が増加する傾向が見られ、接触角が80°を超えた場合には表面気泡面積率が低減する傾向にあった。また接触角の大きい試験サンプルI、Jよりも試験サンプルHの方が表面面積気泡率は小さい結果となった。これは、今回の試験では試験サンプル数がそれほど多くなかったため試験のばらつきの影響があるものの、界面活性剤の添加率を増やすことにより樹脂性離型剤の粘性が向上したため、接触角が大きい場合には塗装作業性が低減し均一な表面を形成することが困難であったことから、コンクリートが硬化する前の型枠表面での気泡の動きに何らかの影響を及ぼした可能性があったと考えられた。上記の結果から、今回の試験では最も表面気泡率の少ない試験サンプルH(接触角91.2°)の樹脂性離型剤を選定した。

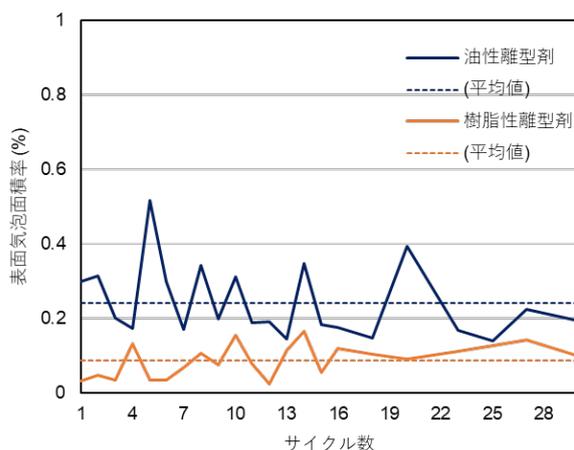


図-7 サイクル数による表面気泡面積率の変化

3.2 樹脂性離型剤の繰返し使用性およびコンクリート表面性状の評価

ポリカルボン酸エーテル系混和剤を使用した水セメント比40%のコンクリートで、1層当たりのパイププレート振動時間60秒とした場合(以降、特に記載がない場合はこの条件で試験を実施)において、樹脂性離型剤の繰返

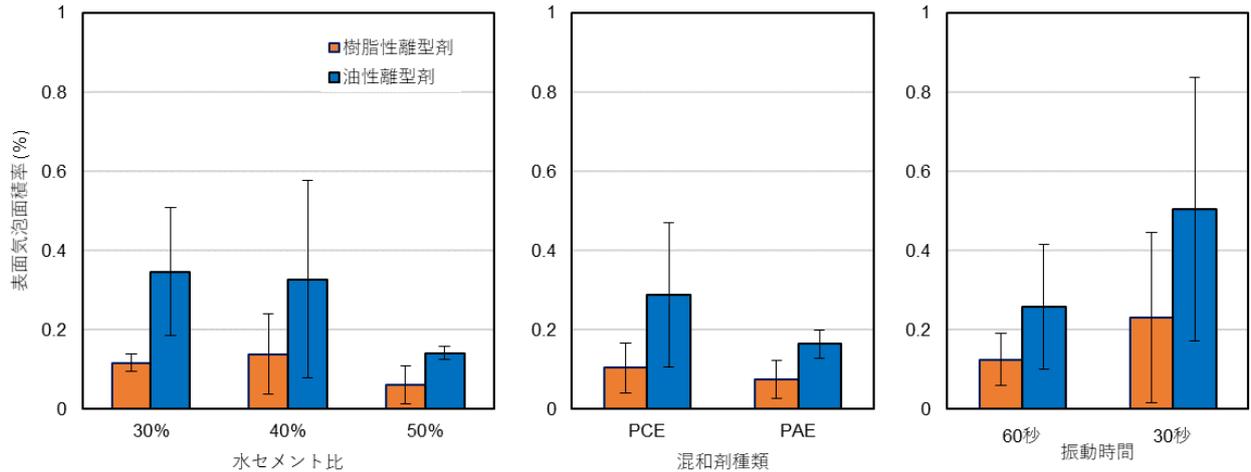


図-8 各パラメータにおける表面気泡面積率 (5 サイクルの平均値・標準偏差)

し使用性を確認した。図-5に樹脂性離型剤を塗布した型枠の脱型直後（清掃前）の状況写真を示す。蒸気養生を想定した高温環境下で樹脂性離型剤を30サイクルまで繰り返し使用したが、剥離や大きな損傷等は確認されなかった。型枠内面に付着するセメント分は少なく、サイクル数が増加するに連れ付着量が増える傾向にあったものの、30サイクル後においてもナイロンたわしや濡れウエス等を用いて容易に除去が可能であった。

図-6に樹脂性離型剤および油性離型剤を使用して作製したコンクリート試験体表面の外観写真を示す。油性離型剤を用いた場合に比べ、樹脂性離型剤を用いた場合はコンクリート表面気泡の径が小さく、気泡数も少ない傾向にあり、表面の美観性は高いように思われた。また、明度や色むらは目視観察においてはほぼ同程度であると思われ、樹脂性離型剤を用いたものの表面の方がやや光沢があるように見えた。

図-7に30サイクルまで繰り返し使用した場合の表面気泡面積率の変化を示す。サイクル数の増加に対して、表面気泡率はある一定の範囲のばらつきで推移し、増加の傾向は認められなかった。また、いずれのサイクル数においても樹脂性離型剤は油性離型剤よりも低い表面気泡面積率を示した。それぞれの場合の30サイクルまでの表面気泡面積率の平均値および標準偏差は、樹脂性離型剤の場合で0.09および0.04、油性離型剤の場合で0.24および0.10であり、樹脂性離型剤を使用することにより表面気泡の面積およびばらつきは半分以下となることが確認された。

図-8に各パラメータを変更し、それぞれ5サイクル繰り返し使用した場合の表面気泡面積率の平均値および標準偏差を示す。いずれの配合条件および振動条件の場合においても、樹脂性離型剤を使用した場合の表面気泡面積率は、油性離型剤を使用したものよりも50%以下とな

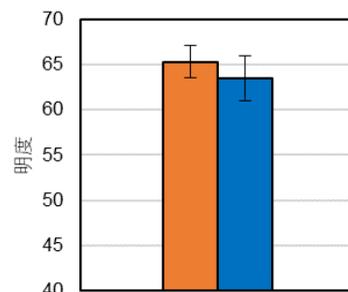


図-9 明度測定結果 (15サイクルまでの平均値・標準偏差)

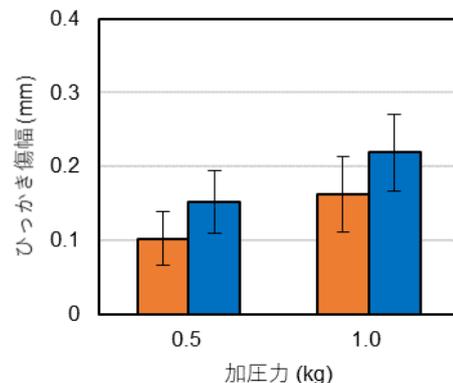


図-10 ひっかき試験結果 (15サイクルまでの平均値・標準偏差)

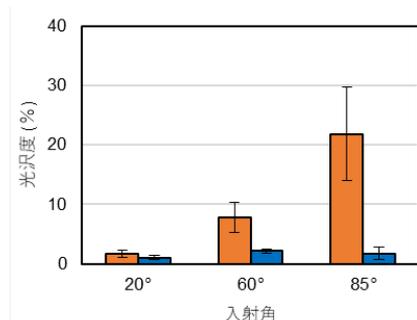


図-11 光沢度測定結果 (15サイクルまでの平均値・標準偏差)

る傾向にあった。水セメント比を変えた場合においては、30%と40%の場合ではほぼ同等で、50%の場合は小さくなる傾向にあった。本試験ではいずれの配合においても同スランプとしたため、50%の配合では粘性が低くなり、バイブレータの振動により表面気泡が抜けやすくなったことが考えられる。混和剤の種類においては、PAE化合物を主成分とする混和剤を用いた場合の方がポリカルボン酸系化合物の混和剤よりも表面気泡面積率はやや小さかったものの、表面気泡に及ぼす影響は同程度であると考えられた。バイブレータの振動による影響については、振動時間を60秒から30秒に短くすることにより気泡面積率は倍程度に大きくなり、樹脂性離型剤で30秒の場合と油性離型剤で60秒の場合は同程度の気泡面積率となった。この結果から、樹脂性離型剤を使用することにより一定品質の外観性状を確保するための振動締め時間を低減できる可能性が示唆された。

図-9に15サイクルまでのコンクリート表面の明度の平均値と標準偏差を示す。樹脂製離型剤を使用した場合の方が油性離型剤よりもやや明度は高い傾向にあるものの、大きい違いは認められなかった。図-10に15サイクル目までにおけるひっかき試験結果の平均値と標準偏差を示す。樹脂性離型剤を使用した場合の方がひっかき傷幅は小さかったため、油性離型剤を使用した場合よりも表面強度が高くなったと考えられた。図-11に15サイクル目までにおける光沢度測定結果の平均値と標準偏差を示す。樹脂性離型剤を使用した場合の方が油性離型剤を使用した場合よりも高い光沢度が確認された。これらの結果から、樹脂性離型剤を使用することによりコンクリートの表面が緻密となり、平滑性が向上することが示唆された。

4. 結論

(1) 樹脂性離型剤および専用プライマーを鋼製型枠に使用した場合、プレキャストコンクリートの製造を想定した試験環境において、離型剤は30サイクルまで剥がれや大きな損傷等は発生せず、繰り返し使用する

ことが可能であった。

- (2) 樹脂性離型剤を使用する場合、油性離型剤に比べコンクリートの表面気泡面積率および発生のばらつきは50%以下に低減され、その効果は30サイクルまで持続することが確認された。
- (3) 水セメント比、混和剤種類、およびバイブレータ振動時間が異なる場合においても、樹脂性離型剤による表面気泡低減効果が確認された。

参考文献

- 1) 伊達重之：再評価されるプレキャスト製品—利用拡大に向けての現状と課題—，コンクリートテクノ，Vol.36，No.1，pp.1-5，2017
- 2) 一宮一夫，出光隆，山崎竹博：粉体系高流動コンクリートの空気量や流動性評価手法が表面気泡性状に及ぼす影響，土木学会論文集，Vol.56，No.711，pp.135-146，2002
- 3) 齊藤亮介，黒田泰弘，辻埜真人，依田侑也，湯浅竜貴，西川浩之：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
- 4) 山田悠二，渡邊健，橋本親典，井上祐史：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1243-1248，2015
- 5) 島田恒平，谷本理勇，指原慶彰，佐川佳一郎：特殊界面活性剤を利用したコンクリートの硬化体表面美観性向上検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.1151-1156，2019
- 6) 渡邊賢三，坂田昇，温品達也，柳井修司：コンクリートの色むらに及ぼす剥離剤の影響に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.673-678，2013