

若材令コンクリート面の早期仕上げ工法（その3）

——促進養生プレキャスト版への適用性——

住野 正博 竹田 宣典 川地 武
入矢 桂史郎 上垣 義明
(本社 土木技術本部 技術第5部) (本店 紀の川工事 事務所)

Quick Finishing Method for Early-age Concrete Surfaces (Part 3)

——Applicability to Thin Precast Form for Accelerated Curing——

Masahiro Sumino Nobufumi Takeda Takeshi Kawachi
Keishiro Iriya Yoshiaki Uegaki

Abstract

This method concerns substrate treatment applied to early-age concrete floor surfaces the same day or the next day after placement. A special resin applied by this method impregnates the surface and forms a resin layer adhered tightly to concrete. If this feature can be put to use for accelerated curing precast mortar, it would be possible to make a thin precast form composed of high-performance mortar with a special resin laminated firmly to one side of the form. However, the present situation is that there is no precedent of application of this method to an accelerated curing precast mortar form, and conditions for impregnation and adhesion are not clearly known. Therefore, experiments were conducted to ascertain this point. The results showed that a special resin impregnated adequately adhered tightly to mortar and formed resin layers. Moreover, the most appropriate mortar age for resin application could be predicted from negative pressure caused by cement hydration and it was judged that this method could be applied to form manufacturing.

概 要

標記工法で用いる特殊樹脂は打設当日および翌日の若材令コンクリート床表面に含浸し、強固に一体化した樹脂被膜層を形成できる。この特長が促進養生したプレキャスト版で発揮できれば、遮塩性、ガス不透過性に優れた樹脂被膜層を片面に強固に一体化した薄肉プレキャスト版が製造可能となり、海洋環境下に建設されるRC構造物の打込み型枠としての用途が展開できる。しかし、促進養生で硬化の進んだ下地に特殊樹脂が含浸し、強固に一体化するかどうかは不明である。そこで、モルタル調合、養生条件、セメント水和で生じる負圧と温度上昇および樹脂の含浸性、付着性の関係を実験し、特殊樹脂と下地との一体性を検討した。

その結果、特殊樹脂は促進養生したモルタル下地に含浸し、強固に一体化した樹脂被膜層を形成できることが判明した。また樹脂の適正な塗布時期はセメント水和で生じる負圧発生時期等から予測可能であった。

1. はじめに

標記工法（以下、若材令工法と言う）は、「クイックボーデン工法」の名称で既に実用化され、塗床工事等に多くの施工実績を上げている。

この工法は打設当日や翌日の若材令コンクリート床面に特殊樹脂の下地処理材を塗布し、遮水性、付着性に優れた下地を短時間に形成できるため、その次の日から樹脂塗床仕上げが施工できる。

このような施工が可能なのは、塗布した特殊樹脂が若材令コンクリート表面に含浸、硬化することによって、一種の樹脂・セメントモルタル複合体層を形成し、また

未含浸の樹脂部分が下地表面に硬化被膜層を形成することによって、下地と強固に一体化した遮水樹脂層を形成し、下地からの水分の上昇を遮断することによる。

ところで、この含浸して下地と強固に一体化する性質が促進養生プレキャスト版に対して発揮できれば、遮塩性、中性化防止性能に優れた樹脂層を片面に強固に一体化した薄肉プレキャスト版の製造に応用でき、また海洋環境下に建設されるRC構造物の打込み型枠への用途展開が可能となる。そのためには樹脂含浸にとって、現場打込みコンクリート下地よりもはるかに厳しい条件、例えば高強度調合モルタルを蒸気養生することによって生じる高強度、高緻密、また温度の高い状態のプレキャスト

表一 特殊樹脂を塗布する下地条件の比較

項目	促進養生プレキャスト版	現場打ち*コンクリート
強度	高強度	普通
水セメント比	低い	普通
セメントの種類	早強	普通
養生方法	蒸気	環境温度
下地の発熱	大きい	やや大きい
強度発現	早い	緩やか
初期強度	高い	低い
水和反応	早い	緩やか
負圧発生	急激	緩やか
硬化程度	硬化	凝結初期
緻密程度	緻密	粗
含水比	低い	高い

* 打設24時間までの状態

表二 供試モルタルの調合表 (kg/m³)

調合	水結合材比	結合材			水*2)	乾燥細骨材	混和剤		ビニロンファイバー	白色顔料
		セメント*1)	シリカヒューム	高炉スラグ			減水剤	収縮低減剤		
A	26	692	49	248	257	975	40	20	26	—
B	26.8	692	49	249	265	944	55	20	26	40

*1) A 調合のセメントは白色ポルトランドセメント, B 調合のそれは早強セメント
*2) 単位水量は液状混和剤を含めた数値である

表三 モルタル調合と促進養生条件

A 調合 A 条件:

前養生20°C 4時間→昇温1時間 (15°C/hr)→35°C保持12時間→徐冷

B 調合 B1 条件:

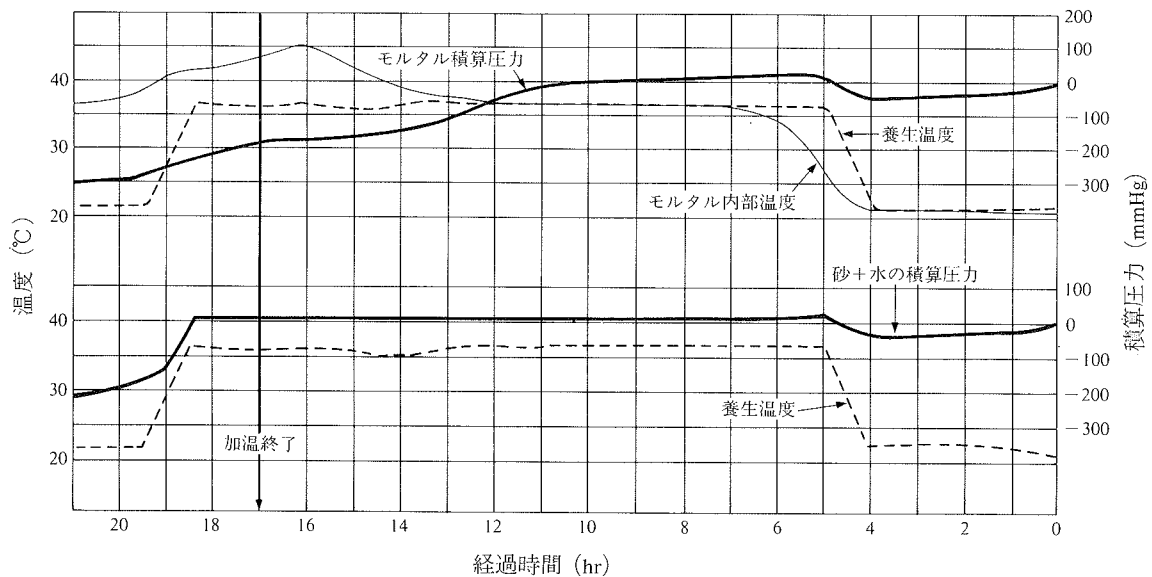
前養生20°C 4時間→昇温1時間 (15°C/hr)→35°C保持13.5時間→徐冷

B 調合 B2 条件:

前養生20°C 2.5時間→昇温1.5時間 (10°C/hr)→35°C保持3.5時間→徐冷

B 調合 B3 条件:

前養生20°C 2時間→昇温2時間 (20°C/hr)→40°C保持5時間→徐冷



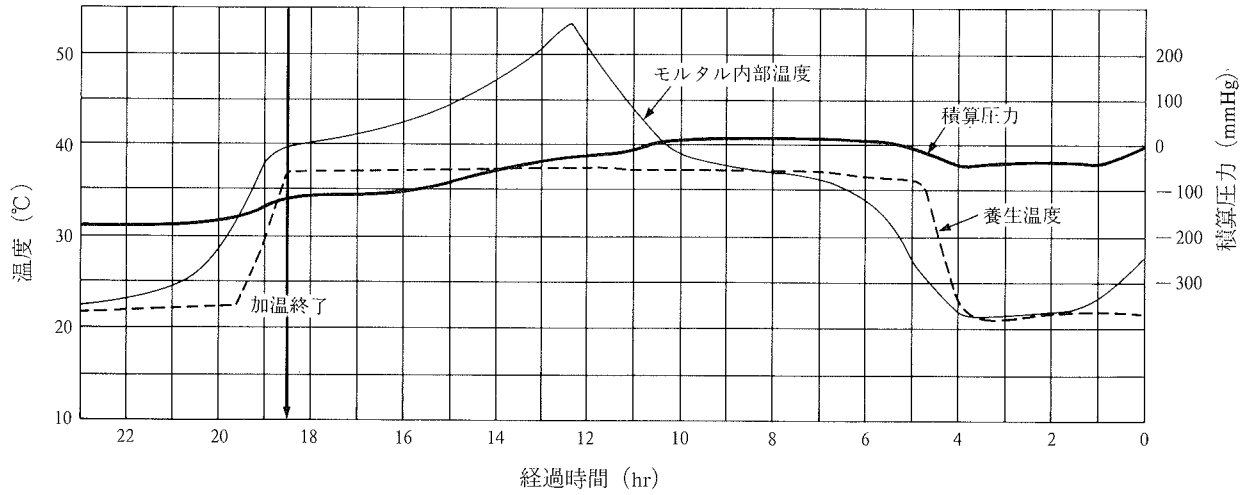
図一 A 調合, A 条件の積算圧力の経時変化

ト版に特殊樹脂を塗布し, 含浸, 一体化した樹脂被膜層を形成させる必要がある。

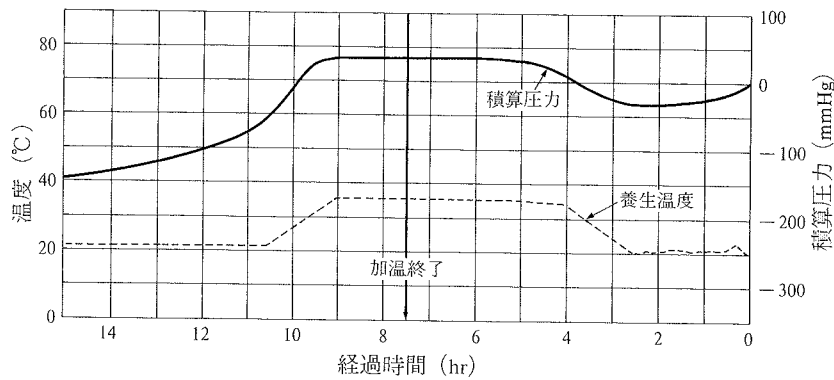
本報では, 調合および促進養生条件を異にするモルタル版のセメント水和に伴う負圧発生や温度上昇と特殊樹脂塗布時のモルタル材令, 樹脂の含浸性および附着性の関係を検討し, 促進養生プレキャスト版への標記工法の適用可能性および樹脂の最適塗布時期の予測について有用な知見が得られたので報告する。

2. 促進養生プレキャスト版下地と現場打込みコンクリート下地の違い

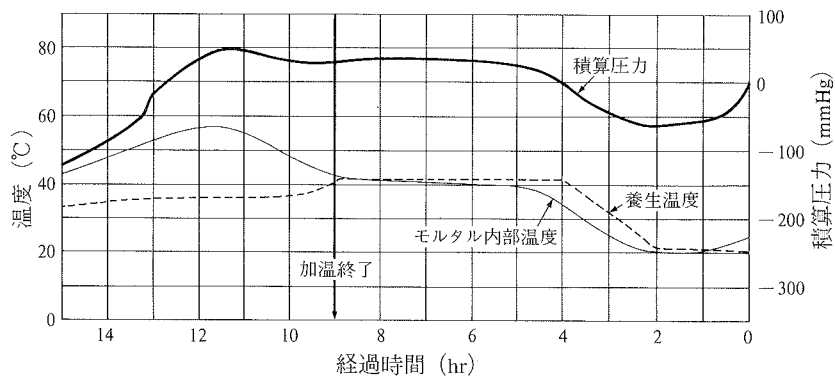
表一の下地条件の比較表において, 特殊樹脂塗布時の促進養生プレキャスト版は現場打ちコンクリートに比べ高温, 高強度, 高緻密で含水比の低い下地であり, また水和反応に伴う負圧発生が急激であることが分かる。高温は特殊樹脂の粘度低下をもたらして樹脂の含浸性



(1) B 1 条件の場合



(2) B 2 条件の場合



(3) B 3 条件の場合

図-2 B 調査, B 条件の積算圧力の経時変化

を向上させる反面、硬化を早めるため、樹脂が下地に十分に含浸しないうちに硬化することが懸念される。高強度、高緻密な下地は樹脂の含浸にとって不利である。低含水比は、一般に樹脂の含浸と硬化反応に有利であるが、若材令工法で使用する特殊樹脂は下地水分を一種の硬化触媒としているため、含浸には有利な反面、硬化反応に

としては不利となる。水和反応に伴う負圧力の発生が急激であることは、負圧力を最大限に有効利用できる時期に樹脂を塗布すれば、含浸促進に非常な利点となるが、時期を逸すると、その利点は低減することになる。

このように促進養生プレキャスト版下地では特殊樹脂の含浸を助長する要因と阻害する要因が混在している。

3. 供試材料

- (1) モルタル 表-2 にモルタルの調合を示した。
- (2) 樹脂 若材令工法に使用する特殊樹脂処理材 (以下、特殊樹脂と言う) を供試した。

4. 実験方法

4.1 水和反応に伴う発生負圧力の測定

表-2 の調合からビニロンファイバーを除いたモルタルをホバートミキサーで混練後、1リットル三角フラスコに入れた。次いでモルタル温度および養生庫内温度計測用の熱電対を設置し、また負圧力測定用のデジタルマノメーター (岡野製作所製、POP-760型) を設置した後、表-3 の養生温度条件にプログラムされた養生庫内に静置して各温度および発生負圧力を経時測定した。

4.2 特殊樹脂の付着力および含浸深さの測定

4.2.1 付着力の測定 表-2 の調合のモルタルをオムニミキサーで混練し、鋼製ベッド上の木製型枠 (30 度角、深さ 5 cm) に打設、振動締固めを行った後、表-3 の条件で養生した。養生中、所定時間ごとにモルタル表面のレイタンスをディスクサンダーで除去し、硬化被膜厚 3 mm 相当量の特殊樹脂を金ごてで塗布した後、室温に静置した。モルタル材令 2 週間で建研式付着力試験器で塗膜の引っ張り付着力 (kgf/cm²) を測定した。

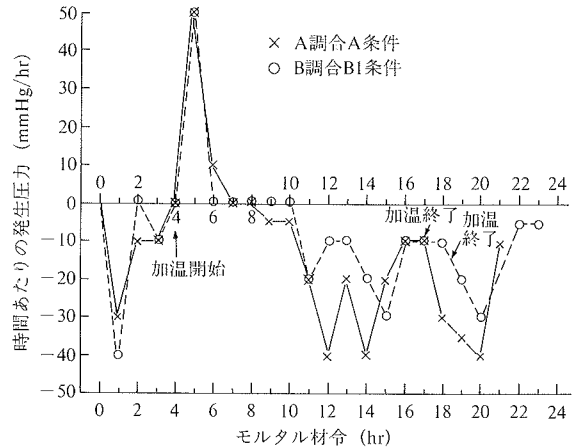
4.2.2 特殊樹脂の含浸深さの測定 付着力を測定した後の供試体をダイヤモンドカッターで切断した。その切断面を #240~#1000 までのサンドペーパーで順次研磨した後、フェノールフタレイン液をかけて赤紫色に発色させた。液乾燥後、再度、研磨して特殊樹脂層および樹脂含浸層の着色部分を除去し、モルタル部分のみの着色層を残した。この状態およびスケールをビデオマイクロスコープ (30 倍) で写真撮影し、写真から非着色層 (含浸層) の厚み (含浸深さ) を求めた。

5. 結果と検討

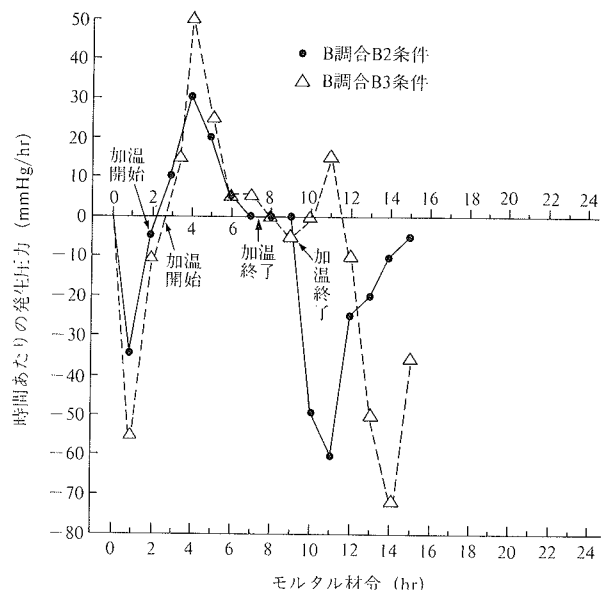
5.1 積算圧力の経時変化

5.1.1 調合、養生条件と積算圧力の経時変化 図-1 に A 調合 (白色セメント使用) の積算圧力、モルタル温度の経時変化と養生条件の関係を示す。同図には同じ条件下で測定した A 調合同じ配合割合の砂と水の混合物の場合を示す。また図-2 (1)~(3) には B 調合 (早強セメント使用) の場合を併記している。

図-1 の A 調合、A 条件において、20°C での前養生時間内では負圧を示しているが、加温開始とともに正圧に転じ、35°C の所定温度に達した時点で約 10 mmHg を示す。その正圧を約 6 時間保持した後、圧力は負圧発生方向に転じ、以後、負圧力が継続的に増大し、加温終了時点で -190 mmHg に達する。加温終了後も 35°C の所定温度を維持している 1.5 時間後までの間に圧力は -240 mmHg まで低下している。その後、温度が下降に転じてからもしばらくの間、少し大きな負圧力の増大がみられ



(1) 加温終了前に負圧を生じた場合



(2) 加温終了後に負圧を生じた場合

図-3 単位時間あたりの発生負圧力の経時変化

るものの、負圧力の発生は温度低下とともに次第に小さくなっている。

この圧力変化と併記した砂と水の混合物のそれを比較すると、養生温度上昇時の正圧発生は試料の体積膨張によると思われる、所定温度の 35°C 保持時間内での正圧から負圧への変化と負圧力の増大はセメント水和反応の進行によると判断される。また、養生温度が下降に転じてからの一時的な発生負圧力の増大はセメント水和反応による負圧に試料の体積収縮による負圧が加算されたことで生じたと思われる。

図-2 の B 調合、B1 条件の場合、加温終了時点での負圧 -120 mmHg は、上記 A 調合の場合に比べ小さいが、圧力変化傾向は類似している。これは、35°C での保持時間が A 調合の場合に比べて 1.5 時間、長いだけで、前養生と昇温条件が同じであったことによると思われる。

B 調合、B2 条件の場合、加温時間が 3.5 時間と短いこ

表一 4 特殊樹脂の付着性試験結果

(1) A 調査 A 条件の場合の付着力

特殊樹脂塗布時の モルタル材令 (hr)	8.5	10.5	11.5	12.5	14.0	17.5	24.0
付着力 (kgf/cm ²)	36	38	39	35	35	38	32

* 特殊樹脂を塗布していないモルタル：31 kgf/cm²

(2) B 調査 B1 条件の場合の付着力

特殊樹脂塗布時の モルタル材令 (hr)	8	10	12	14	16	18	20	24
付着力 (kgf/cm ²)	36	33	35	34	33	34	37	35

ともあって、所定温度35°Cの保持時間内に正圧から負圧への変化はみられないが、所定温度まで加温する際の正圧発生、養生温度低下による負圧発生は同様に生じている。同様に加温時間の短いB調査、B3条件でも所定温度40°Cの保持時間内に正圧から負圧への変化はみられない。しかし、他とは異なり、加温終了後から圧力は45 mmHgまで再上昇した後、負圧発生方向に転じている。その後養生温度が緩やかに低下しているにもかかわらず、負圧力の増大はかなり急速である。この圧力変化は図から明らかなように、加温終了直後から生じたモルタル温度の急激な上昇と下降に伴う現象と判断される。

5.1.2 モルタル温度と積算圧力変化 調査AのA条件、調査BのB1条件およびB3条件では、いずれもモルタル温度が所定養生温度以上に上昇しているにもかかわらず、前二者では負圧の継続的な発生のみであり、B3条件ではモルタル温度が養生温度以上に再上昇するに伴って、圧力は正圧方向に増大した後、温度低下とともに負圧発生方向に転じている。

この異なる現象は、A調査のA条件およびB調査のB1条件でのモルタル温度が負圧発生の進行中に上昇し始めたのに対し、B3条件のそれは負圧の発生前から急激に上昇していることに起因すると思われる。

5.1.3 単位時間あたりの圧力変化 図一3のA調査のA条件、B調査のB1条件では、加温終了前に-10~-40 mmHg/hrの負圧力が7~8時間に亘って継続的に発生し、加温終了後も2~3時間の間、その発生が持続している。

またB調査のB2およびB3条件では、加温終了以後に負圧が急激に発生し、最大で-60~-70 mmHg/hrに達する。この値は上記A調査およびB調査B1条件の場合の約2倍である。これは、加温終了後に水和反応が急速に進んだことで負圧が急激に発生した上に、温度低下に伴う体積収縮時の負圧力が加算されたことによると考えられる。

これら単位時間あたりの圧力変化が端的に示すように調査、促進養生条件によって、負圧の発生時期とその値はかなり異なる。

表一 5 特殊樹脂塗布時のモルタル材令と樹脂含浸深さ

項目	特殊樹脂塗布時のモルタル材令 (hr)								特定時期の材令 (hr)		
	8	10	12	14	16	18	20	24	a	b	c
A 調査 A 条件	1	—	1	—	—	—	—	—	8	12、 14	13~ 16
B 調査 B1 条件	0.7~ 1	0.9~ 1	0.4~ 0.5	0.3~ 0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	10	15	9.5~ 12.5
B 調査 B2 条件	—	1.8~ 2	1.3~ 1.5	0.7~ 0.9	—	—	—	—	9	11	—
B 調査 B3 条件	0.5~ 1.2	0.5~ 0.8	0.3~ 0.8	0.3~ 0.6	0.3~ 0.5	—	—	—	11.5	14	9~ 11.5

備)・A 調査における樹脂塗布時の材令は8.5および11.5 hr

- ・a は負圧を生じ始めた時の材令
- ・b は加温中に最大負圧力を生じた材令
- ・c はモルタル温度が再上昇中の材令

5.2 特殊樹脂塗布時期と付着性

表一4にモルタル材令2週間で実施した付着性試験結果を示す。同表のA調査では同じ条件で促進養生後、特殊樹脂を塗布しなかったモルタル（無塗布モルタル）を用い、付着性試験の方法で測定した下地モルタルの引張り破断強度を付着力として併記している。

またA調査、A条件については本試験に先立ちモルタル材令1~9時間で特殊樹脂を塗布し、付着性を検討した。付着力は材令1~6時間で12~18 kgf/cm²、材令9時間で34 kgf/cm²を示した。破断は前者でモルタルと特殊樹脂の界面で生じ、後者で全てモルタル内で生じた。このことから、特殊樹脂が下地モルタルに強固に付着するのはモルタル材令9時間前後以降であると判断され、その材令を表一4で検討した。

同表のA調査において、モルタル材令8.5~17.5時間で特殊樹脂を塗布した場合の付着力は材令24時間で塗布した場合よりも3~7 kgf/cm²大きく、また後者の付着力は無塗布モルタルと同程度であることから、付着力は樹脂塗布時のモルタル材令に影響されるように見受けられる。しかし、破断が全てモルタル内部から生じ、その厚みは前者の材令で17~21 mm、後者のそれで19 mm、無塗布モルタルで20 mmと大差なかったことから、付着力の差異は下地モルタル強度の差異に起因すると判断される。

同表のB調査において、付着力とモルタル材令の間に規則性がみられず、付着力は33~37 kgf/cm²を示している。また、破断は全てモルタル内から生じ、その厚みはいずれも19~21 mmであった。

これらのことは、材令8~24時間のモルタルに特殊樹脂を塗布すれば、樹脂と下地モルタルは強固に付着し、一体化することを示している。

5.3 特殊樹脂塗布時期と含浸性

表一5にモルタル材令と特殊樹脂の含浸深さとの関係を示す。同表には図一1~図一3で負圧が発生し始める材令、最大負圧力発生時の材令、モルタル温度が所定養生温度から再上昇し始め、最高温度に至るまでの材令を抽出し、併記している。

同表において、B 調合 B1 条件の場合にみられるように、樹脂含浸深さは特殊樹脂塗布時のモルタル材令 8～10 時間で最も大きく、次いで材令 12～14 時間で大きく、材令 16～24 時間で小さくなっており、モルタル材令によって区分される傾向にある。この区分は同表に併記した負圧発生時期から明らかなように、それぞれ負圧が発生し始める前、負圧発生直後から最大負圧発生までの間および負圧発生が小さくなる時期にほぼ一致する。同様の関係は B 調合、B3 条件の場合にも認められる。このことは、樹脂含浸深さが特殊樹脂塗布時のモルタル材令および負圧の発生時期と発生程度に密接に関係することを示している。

次に樹脂含浸深さとモルタル温度の関係をみると、B 調合、B1 および B3 条件において、モルタル温度が再上昇し始めた時に特殊樹脂を塗った場合の樹脂含浸深さはそれ以前に塗った場合と大差ない値を示している。また、最高温度で塗布した場合の樹脂含浸深さは B1 条件において、温度が再上昇し始めた時に塗った場合の約 1/2、B3 条件ではその時よりも少し小さい程度である。B3 条件ではモルタル温度の再上昇中に特異的に正圧力が再び急上昇したにもかかわらず、上記のように樹脂含浸深さがそれほど小さくならなかったことを考慮すると、モルタル温度の再上昇による樹脂含浸への影響は上記した負圧発生に比べて小さいと判断される。

5.4 促進養生下地への若材令工法の適用性

前述した付着力と樹脂含浸深さから明らかなように、促進養生モルタル下地と特殊樹脂との一体化は、0.2 mm 以上の深さに樹脂が含浸していれば確保できる。しかし、その一方では樹脂の含浸深さが大きければ大きいほど、より強固に一体化していることは言うまでもない。

この観点から、前述した付着性、樹脂含浸深さ、モルタル材令、負圧発生などの関係を総合すると、樹脂塗布時期としては、負圧の発生し始める 2 時間ほど前から発生し始めるまでの間が最適であり、次いで負圧が発生し始め、ピークに達するまでの間が適していると判断される。それ以後においては適用可能時期と判断される。

このことから、特殊樹脂を適正時期に塗布することによって、促進養生モルタル下地に含浸し、強固に一体化した樹脂被膜層を片面に有する薄肉プレキャスト版の製

造は若材令工法の適用で可能であると判断される。

実用化段階においては、特殊樹脂の適正な塗布時期は調合、促進養生条件と負圧発生時期、樹脂含浸深さ等の関係からだけでなく、工場での製造工程をも考慮して判断することが必要になる。

なお、若材令工法を適用して試作した薄肉プレキャスト版の優れた中性化防止性能や遮塩性等は竹田らによって明らかにされており¹⁾、この工法の促進養生プレキャスト版への適用性は性能面からも確認されている。

6. まとめ

若材令工法で用いる特殊樹脂は若材令コンクリート床表面に含浸し、強固に一体化した被膜層を形成できる。この特長が促進養生プレキャスト版に対しても発揮できれば、遮塩性、ガス不透過性に優れた樹脂被膜層を片面に強固に一体化した薄肉プレキャスト版の製造が可能となる。そして、その用途としては、海洋環境下に建設され、長期耐久性が要求される RC 構造物の打ち込み型枠が考えられる。しかし、促進養生したプレキャスト版への適用事例がないため、施工条件だけでなく、特殊樹脂と下地が強固に一体化するかどうかとも全く不明である。そこで、モルタル調合、促進養生条件、セメント水和反応で生じる負圧力と温度上昇、特殊樹脂を塗布する際のモルタル材令、樹脂の含浸性および付着性の関係を実験し、特殊樹脂が下地に含浸し、強固に一体化するかどうか、また一体化するための条件を検討した。

その結果、特殊樹脂は促進養生モルタル下地に含浸し、強固に一体化した樹脂被膜層を形成することが判明し、若材令工法は樹脂層を片面に有する薄肉プレキャスト版の製造に適用できると判断された。また樹脂の含浸性はセメントの水和反応で生じる負圧力と密接に関係すること、樹脂の適正な塗布時期は所定調合のモルタルを所定養生条件で養生した際の負圧力の発生時期と経時変化等から予測できることが判明した。

参考文献

- 1) 竹田, 他: PCA フォームによるコンクリート構造物の耐久性向上に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 48, p. 95~100, (1994)