

真空脱水コンクリート床スラブの表層に発生する微細ひび割れの低減に関する実験的検討

EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVEMENT OF SURFACE MICRO CRACK OF VACUUM PROCESSED CONCRETE SLAB

畑中重光 — *1 三島直生 — *2
和藤 浩 — *3 村松昭夫 — *4
山口武志 — *5 筒井文康 — *6

Shigemitsu HATANAKA — *1 Naoki MISHIMA — *2
Hiroshi WATOH — *3 Akio MURAMATSU — *4
Takeshi YAMAGUCHI — *5 Fumiyasu TSUTSUI — *6

キーワード：
真空脱水処理工法, コンクリート床スラブ, プラスチック収縮ひび割れ, 収縮低減剤, 炭酸カルシウム, 付着強度

Keywords:
Vacuum processing method, Concrete slab, Plastic shrinkage crack, Shrinkage-reducing admixture, Calcium carbonate powder, Bond strength

Very fine plastic shrinkage crack is often reported to occur on vacuum processed concrete slab, which is considered due to cement-richness of a surface layer. A shrinkage-reduction admixture is used in order to prevent such plastic shrinkage cracks. Although the cracks can be avoided by this method, white powders of CaCO_3 sometimes appear on the surface. The effects of the admixture and curing condition were investigated on the amount of powders and the bond strength. It was found that appropriate addition of the admixture successfully reduces the plastic shrinkage cracks without producing powders on the surface.

1. はじめに

筆者らは、これまでコンクリート床スラブ表層部の高強度化・高耐久化を実現させる工法である真空脱水処理工法(図1に概略図を示す)について一連の研究^{1),2)}を行ってきた。実験室レベルの小型試験体では、ほとんど問題になることはないが、実際の施工現場では、真空脱水処理を行ったスラブ表面がセメント分が多くなることにより、細かい亀甲状のプラスチック収縮ひび割れが発生するという事例も報告されている。発生するひび割れは、表層の極めて細かいものであり、耐久性上、とくに問題となる欠陥ではないといえるが、そのままスラブ表面が使われる場合および流し塗りや防塵塗装などのような薄い塗り床の場合には、美観にも配慮し、真空脱水処理の後に収縮低減剤をコンクリート床スラブ表面に練り込む方法がしばしば採用される。収縮低減剤により、スラブ表面のひび割れは軽減されるが、塗布量が一定量以上になると、スラブ表面に炭酸カルシウムと考えられる結晶(以下、粉体)が発生し、塗り床施工時のコンクリートとの付着性が低下するといった新たな問題が生じることもある。

本報では、上記の問題を解決することを目的として、表層ひび割れの発生状況、表層における粉体の発生量、および仕上材とコンク

リートの付着性を把握し、より効果的な対策を見いだすための検討を行った³⁾⁻⁵⁾。本研究では、2シリーズの実験を行った。すなわち、実験Ⅰでは、表面に発生した粉体を除去するという条件下でのひび割れおよび粉体量の検討^{3),4)}を、実験Ⅱでは、粉体を除去しない場合を含めた仕上材の付着性について検討⁵⁾を行った。

2. 実験Ⅰ

2.1 実験概要

(1) コンクリートの調合および使用材料の性質

実験Ⅰで使用したコンクリートの調合表を表1に、使用材料の性質を表2に示す。なお、収縮低減剤は、主成分が非イオン系界面活性剤系のものを使用した。

(2) 実験要因と水準

実験要因と水準を表3に、試験体一覧と試験体名を図2に示す。

表1 コンクリートの調合表

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単位質量 (kg/m ³)				SP (C×%)	SL (cm)
				W	C	S	G		
24	60	54	5.5	185	308	907	848	1.00	19.3

注) Fc: 圧縮強度レベル, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率, Air: 実測空気量, W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, SP: AE減水剤, SL: 実測スランプ

表2 使用材料の性質

種類	性質
セメント	普通ポルトランドセメント、密度: 3.16 g/cm ³
細骨材	川砂、表乾密度: 2.57 g/cm ³ 、粗粒率: 2.80
粗骨材	川砂利、表乾密度: 2.65 g/cm ³ 、実積率: 62.5、最大寸法: 15mm
AE減水剤	ポリカルボン酸系
収縮低減剤	主成分: 非イオン系表面活性剤系

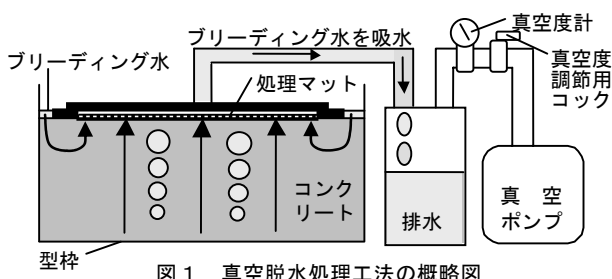


図1 真空脱水処理工法の概略図

本稿は文献3)~5)に修正・加筆し、まとめたものである。

*1 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博
(〒514-8507 津市栗真町屋町1577)

*2 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

*3 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 技術専門員

*4 藤建和 代表取締役

*5 山口技研 代表

*6 藤建和工事営業部 課長

*1 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

*3 Technical Expert, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.

*4 President, Kenwa Co., Ltd.

*5 President, Yamaguchi-Giken

*6 Technical Engineer, Kenwa Co., Ltd.

実験要因は、真空脱水処理の有無、収縮低減剤の塗布量(0、50、100、200g/m²)、養生方法の3種類とした。養生方法については、実験室内気中養生を基本としたが、真空脱水処理を行い収縮低減剤を100g/m²塗布した試験体、真空脱水処理を行い収縮低減剤を塗布しない試験体、および無処理試験体の3種類については、湿布養生および気中養生で風を与えた環境下の養生も行った。

(3) スラブ試験体の作製方法

試験体は、33.5(縦)×19.3(横)×15.5(高さ)cmの無筋コンクリートとした。なお、コンクリートの打設は、12月上旬(気温14℃、湿度35%)に行った。試験体の打設は1層打ちとし、締固めは棒状バイブレータで行った。真空脱水処理を行う試験体の処理開始時期は、φ20cm、高さ15.5cmの容器を用いたブリーディング試験でコンクリートのブリーディングがほぼ終了した3時間30分後に順次行った。真空度(吸引圧/大気圧)は、現場の状態を再現するために65%程度とし、処理継続時間は5分間とした。なお、本実験で使用した真空ポンプの性能は、100V、200W、到達圧力9.3Pa、排気能力60lit./min.である。

真空脱水処理後は、収縮低減剤を塗布する試験体については、それぞれ所定の量を木ゴテおよび金ゴテを使用して表層部に練り込んだ。なお、金ゴテ仕上げは、打設終了1時間30分後と3時間後にも行った。風を与える試験体は、最終コテ押さえ終了後に24時間、風速1～2m/sの風を与えた。また、湿布養生を行う場合には、打設翌日から材齢5日目まで行った。

2.2 測定項目および測定方法

本実験の測定項目を表3に示す。

(1) 真空脱水処理による排水量および真空度の時刻歴

真空脱水処理については、真空度の時刻歴と吸引された排水量を測定した。

(2) 表層の粉体発生量

表層の粉体発生量の測定は、材齢7日目に5cm×13cm、毛の長さ4.5cmのナイロンブラシを用いて、試験体表面を掃く程度の軽い力で全面を掻き、粉体が採取できなくなるまで繰り返し、その掻いた回数と発生した粉の量を測定した。粉体の採取方法を写真1に示す。

(3) 表面に発生するひび割れの観察・評価

ひび割れの観察・評価は、粉体の除去後に行った塗り床工程の際に、下地に使用する透明なプライマー(主剤:特殊変性エポキシ樹脂、硬化剤:変性脂肪族ポリアミン)を施工した時点で浮き出たひび割れを、目視および写真撮影した。プライマーおよび塗り床塗料(主剤:エポキシ樹脂、硬化剤:変性脂肪族アミン)の仕上施工は、材齢45日で行った。

(4) 付着強度

付着強度の測定は、仕上施工の1週間後に建研式付着試験機を用いて行った。試験回数は、それぞれの要因ごとに、2～3回とした。付着試験の様子を写真2に示す。

2.3 実験結果

(1) 真空脱水処理による排水量および真空度の時刻歴

真空脱水処理による排水量の測定結果を図3に示す。図によれば、排水量は若干のバラツキがあるものの、実験要因による顕著な傾向

表3 実験要因と水準

真空脱水	収縮低減剤塗布量	養生条件	測定項目
有(V) (真空度 65%)	0、50、100、200g/m ²	気中養生(D)	・真空脱水処理時の排水量 ・真空度の時刻歴 ・表層の粉体発生量(材齢7日) ・ひび割れの観察・評価(材齢45日) ・建研式付着試験(材齢52日)
無(P)		湿布養生(W)	
		風(風速1～2m/s)(F)	

注) アンダーラインは、基準となる水準を示す。

風(F)	気中養生(D)	湿布養生(W)
POF 無処理(P) 塗布なし	POD 無処理(P) 塗布なし	POW 無処理(P) 塗布なし
V0F 真空脱水(V) 塗布なし	V0D 真空脱水(V) 塗布なし	V0W 真空脱水(V) 塗布なし
	V50D 真空脱水(V) 塗布量 50g/m ²	
V100F 真空脱水(V) 塗布量 100g/m ²	V100D 真空脱水(V) 塗布量 100g/m ²	V100W 真空脱水(V) 塗布量 100g/m ²
	V200D 真空脱水(V) 塗布量 200g/m ²	
・試験体名の説明 例) V 100 D L 養生方法 └─ 塗布量 (g/m ²) 真空脱水		

図2 試験体一覧および試験体名



写真1 粉体の採取方法

写真2 付着試験

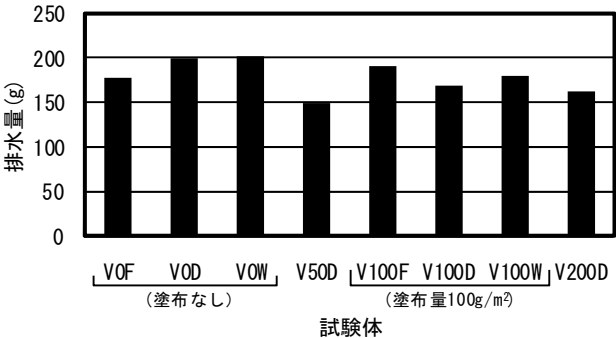


図3 真空脱水処理による排水量

は見られなかった。なお、真空度の時刻歴は、図には示していないが、すべての試験体とも真空脱水処理中(5分間)は、 $65 \pm 2\%$ の範囲内であった。

(2) 表層の粉体発生量

表層の粉体発生量の測定結果を図4に示す。図によれば、粉体が特に多く採取されたのは、収縮低減剤の塗布量を 100 g/m^2 とし風を与えた試験体V100Fで1.8g(ナイロンブラシで掻いた回数:300回)、塗布量が 200 g/m^2 と多い試験体V200Dで2.9g(掻いた回数:400回)であった。その他の試験体では、掻いた回数は100回である。これらの試験体(V100F、V200D)については、粉体の採取後、表面に骨材が露出した部分(後掲の図5参照)も確認された。このことは、表層のセメント硬化体が削られていることを示しており、何らかの原因で表層が脆弱化したと考えられる。

本実験で用いた収縮低減剤は、水溶液の状態で真空脱水処理後に表層に散布され、コテ仕上げにより練り込まれている。したがって、散布量が多いために極く表層のW/Cが大きくなったこと(V200D)、急激な初期乾燥により水和が阻害されたこと(V100F)などの理由で表層が脆弱化した可能性がある。この他に、表面張力の低下によりセメント硬化体中の水酸化カルシウムが移動し易くなり、表層で炭酸カルシウムとして析出していることも考えられる(分析結果については、付録参照)。

(3) 表面に発生するひび割れ

プライマーを塗布後の試験体表面の写真を2階調化したひび割れの画像を図5に示す。図によれば、表層の微細なひび割れが確認されたのは、無処理試験体(P)および真空脱水を行って収縮低減剤を塗布しなかった試験体(0)のみであった。なお、ひび割れの状況には、真空脱水処理の有無、養生方法によって顕著な差は見られなかった。

試験体を切断した断面において、ひび割れの深さをマイクロスケープで観察した画像の例(P0D、V0D)を写真3に示す。写真によれば、その深さは非常に浅く、また、写真には示していないが、他の試験体においても最大で0.5mm程度であった。この観察結果から、これらのひび割れは、仕上げを良好にするために金ゴテで浮かせたノロが乾燥収縮して発生したものと考えられる。また、図5のひび割れ発生状況から、実験Ⅰの範囲では、表層の微細ひび割れは、今回用いた収縮低減剤を 50 g/m^2 程度の少量だけ塗布すれば防止できると考えられる。

(4) 付着強度

建研式付着試験機を用いた付着強度の結果を図6に示す。図によれば、塗り床の付着強度は、真空脱水処理を行った試験体(V)が無処理試験体(P)より大きくなった。収縮低減剤を塗布し、粉体を除去した本実験の範囲では、塗布量の違いによって、付着強度に顕著な差はなかった。なお、粉体除去の影響については、実験Ⅱで考察する。また、養生条件の影響を見ると、真空脱水処理を行った試験体(V0、V100)では、風、気中、湿布養生の順に付着強度が大きくなった。

2.4 実験Ⅰのまとめ

実験Ⅰの結果からは、真空脱水処理を行うことで発生するスラブ表面の微細なひび割れは、収縮低減剤を塗布することにより防止することができることが明らかとなった。しかし、収縮低減剤を一定量以上、塗布することによって表層に粉体が発生し、その発生量は、

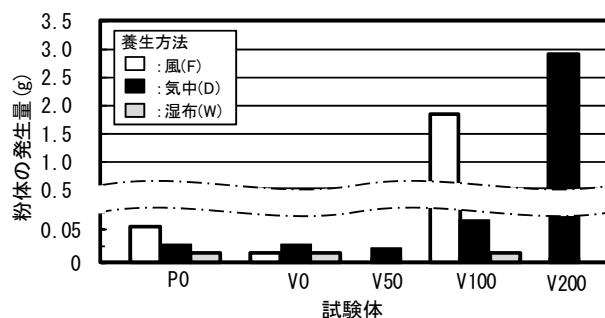


図4 表層の粉体の採取量

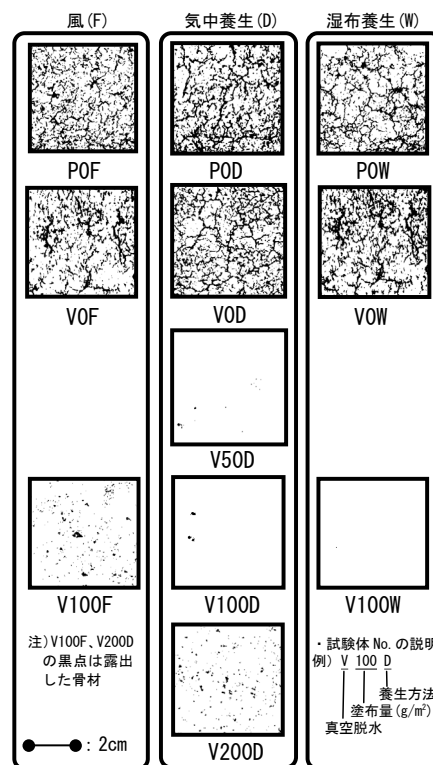


図5 表面ひび割れの2階調化の画像

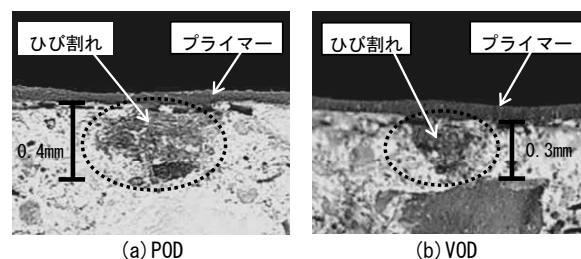


写真3 ひび割れの断面写真

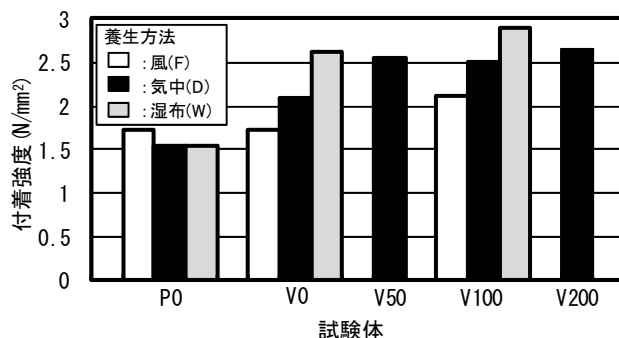


図6 付着試験の結果

真空脱水	収縮低減剤塗布量	養生条件	粉体の除去	測定項目
有 (V) (真空度 65%)	0、25、50、200g/m ²	気中養生 (D) 風 (風速 1~2m/s) (F)	有 無	実験 I と同様

(a) 粉体なし (b) 粉体あり

写真4 付着試験後のスラブ表面の様子 (V200D)

風 (F)	氣中養生 (D)
	V0D 真空脱水 (V) 塗布量 0g/m ²
V25F 真空脱水 (V) 塗布量 25g/m ²	V25D 真空脱水 (V) 塗布量 25g/m ²
V50F 真空脱水 (V) 塗布量 50g/m ²	V50D 真空脱水 (V) 塗布量 50g/m ²
・試験体名の説明 例) V 200 D <div style="margin-left: 20px;"> <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> 養生方法 <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> 塗布量 (g/m²) <div style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> 真空脱水 </div>	V200D 真空脱水 (V) 塗布量 200g/m ²

表5 ひび割れの発生
の有無

試験 体名	ひび 割れ	試験 体名	ひび 割れ
		V0D	有
V25F	有	V25D	有
V50F	無	V50D	無
		V200D	無

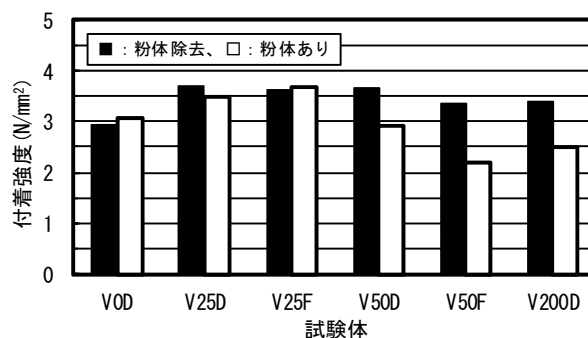


図 8 付着試験の結果

はなかった。また、真空度の時刻歴は、全試験体とも真空脱水処理中(5分間)は、 $65 \pm 2\%$ の範囲内であった。

(2) 表層の粉体発生量

表層の粉体は、実験Ⅰと同様、塗布量が 200 g/m^2 と多い試験体で極端に多く発生した。なお、収縮低減剤の塗布量を 25 g/m^2 と少なくした実験Ⅱで初めて扱う試験体、収縮低減剤を 50 g/m^2 塗布し、風を与えた試験体については、粉体が多く発生するという傾向はなかった。

(3) 表面に発生するひび割れ

粉体を除去し、プライマーを塗布した後の試験体表面のひび割れの観察結果を表5に示す。養生方法にかかわらず、収縮低減剤の塗布量が25g/m²の試験体では、細かいひび割れを確認し、塗布量50g/m²では、風を与えた試験体でも、ひび割れの発生は確認されなかった。この結果から、収縮低減剤の塗布量を一定量以上(本実験では、50g/m²)とすれば、たとえ風があたってもスラブ表面のひび割れの発生を防止できると考えられる。なお、ひび割れが発生した塗布量0および25g/m²の試験体のひび割れの様子は、塗布量、養生方法、粉体除去の有無によってあまり差がなかった。

(4) 付着強度試験

付着強度試験の結果を図8に示す。塗布量 50、200g/m²の試験体で、表面の粉体を除去しなかった部分の付着強度は、除去した部分より 0.7~1.2N/mm² (20~35%) 程度小さくなった。なお、粉体を除去した部分は、粗面あるいは骨材が露出して付着強度が大きくなったことも一因と考えられる。すなわち、スラブ表面に発生する粉体は、塗り床や貼り床の付着強度に大きな影響を与えるといえる。

収縮低減剤の塗布量が少ない場合 (20g/m²) は、付着強度に及ぼす粉体の影響はみられなかった。ここで、本実験の付着強度は、公共建築工事標準仕様書⁶⁾で規定された「合成樹脂塗床(弾性ウレタン塗床材およびエポキシ樹脂塗床材)を用いて床仕上げを行う工事を行う場合の付着強度の下限値」である 1.0 N/mm² は満足している。しかし、実際の施工現場では、剥離だけでなく膨れの問題などにも配慮し、レイトンスや脆弱部は、すべて取り除いて塗り床などの施

3.2 測定項目および測定方法

測定項目および測定方法は、実験Ⅰと同様とした。ただし、ひび割れの観察・評価は、材齢 32 日目に、付着試験は材齢 39 日目に行った。なお、付着試験は、粉体の除去の影響を検討するため、試験体表面を粉体を除去する部分としない部分に分けて行った。

3.3 実験結果

(1) 真空脱水処理による排水量および真空度の時刻歴

真空脱水処理による排水量には、実験Ⅰと同様に極端なバラツキ

工を行うのが一般的⁷⁾であり、これが望ましいことは自明である。

なお、写真4は、付着試験後のスラブ表面の一例を示したものである。粉体を除去した部分は、ほとんどの試験体でコンクリート内部が破壊したが、粉体を除去しなかった部分は、仕上材とコンクリート表面の界面破壊となっている。

3.4 実験Ⅱのまとめ

実験Ⅱの結果からは、表層の微細ひび割れの発生は、収縮低減剤を使用しない試験体や少量(25 g/m²程度)だけ塗布した試験体で見られ、養生条件による差異は見られなかった。また、微細なひび割れおよび粉体の発生は、今回用いた収縮低減剤を50 g/m²程度塗布することで防止できた。

4. まとめ

本報では、真空脱水を行った床スラブの表層に発生する微細ひび割れを確認し、美観上の要求に応じ、これを回避するための一手法について実験的に検討した。本実験により得られた知見を以下に示す。

- 1) 実験室レベルにおいても、真空脱水処理を行った場合、試験体表面に無処理試験体と同様な微細なひび割れが発生した。また、収縮低減剤を一定量以上、塗布することによって粉体が大量に発生した。
- 2) 表層の微細ひび割れの発生は、収縮低減剤を使用しない試験体や少量(25 g/m²程度)だけ塗布した試験体で見られ、養生条件による差異は見られなかった。また、そのひび割れの深さは非常に浅く、仕上げを良好にするために金ゴテで浮かせるノロが乾燥収縮したものと考えられる。
- 3) 表層の粉体の発生量は、養生期間中の乾燥状態および収縮低減剤の塗布量に影響される。
- 4) 付着試験では、粉体を除去した部分は、ほとんどの試験体でコンクリート内部が破壊したが、粉体を除去しなかった部分は、仕上材とコンクリート表面の界面破壊となり、付着強度も小さかった。
- 5) 収縮低減剤の塗布量が50g/m²以上では、風があってもひび割れを防止できるが、粉体が発生し、これを除去しない場合には付着強度が35%程度低下する。

本実験の範囲では、真空脱水処理後に発生する微細なひび割れおよび粉体の発生は、今回用いた収縮低減剤を50 g/m²程度塗布することで防止できた。ただし、粉体が発生しないように湿布養生を行うことも重要であり、もし、粉体が発生した場合は、それを取り除いてから塗り床や貼り床の施工を行うことが肝要である。

付録：発生した粉体の分析

実験Ⅱの収縮低減剤を200g/m²塗布した試験体で発生した粉体についてX線回折で分析を行った。ここでは参考のために付録として記載する。定性分析では、炭酸カルシウム、エーライト(2種)、ビーライト、石英、長石と考えられるピーク値がみられた。ただし、定量分析は、炭酸カルシウムとエーライトのピークが重なっているため、炭酸カルシウムの含有量を分析することは難しかった。

謝辞

本実験でご協力を得た山口昇三氏(元・竹本油脂)、前川明弘氏(三重県工業研究所)に深謝致します。

参考文献

- 1) 畑中重光、和藤浩、三島直生、村松昭夫：真空脱水工法によるコンクリート床スラブの表層および内部強度性状改善に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、No. 558、pp. 7-14、2002。
- 2) 畑中重光、和藤浩、三島直生、村松昭夫：真空脱水コンクリートの品質に及ぼす処理マットおよび真空度の影響、日本建築学会構造系論文集、No. 588 P. 13-19、2005。
- 3) 筒井文康、和藤浩、村松昭夫、山口武志、山口昇三、三島直生、畑中重光：真空脱水処理を行ったコンクリート床スラブ表層に発生する微細ひび割れの低減に関する実験的検討(その1 実験概要)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、p. 1107-1108、2009。
- 4) 和藤浩、筒井文康、村松昭夫、山口武志、山口昇三、三島直生、畑中重光：真空脱水処理を行ったコンクリート床スラブ表層に発生する微細ひび割れの低減に関する実験的検討(その2 実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、p. 1109-1110、2009。
- 5) 筒井文康、和藤浩、村松昭夫、山口武志、三島直生、畑中重光：真空脱水処理を行ったコンクリート床スラブ表層に発生する微細ひび割れの低減に関する実験的検討(その3 スラブ表面に発生する粉体について)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 361-362、2010. 9。
- 6) 国土交通省：公共建築工事標準仕様書、19章内装工事、4節合成樹脂塗床、pp. 259-263、2007。
- 7) 日本塗り床工業会：塗り床ハンドブック、4章塗り床施工、pp. 41-63、2006。

[2010年6月17日原稿受理 2010年9月1日採用決定]