

論文 仕上材のはがれに及ぼす下地コンクリートの含水率、細孔構造の影響

湯浅昇^{*1}・松井勇^{*2}・逸見義男^{*3}・佐藤弘和^{*4}

要旨：本研究は、仕上材のはがれに及ぼす下地コンクリートの含水率、細孔構造の影響を検討したもので、ここでは、塗床を対象とした。その結果、はがれ易さの指標として用いた剥離接着強さは、コンクリートの含水率が6%以上では、含水率依存性があり、6%以下では細孔構造依存性があることがわかった。また、ふくれの発生・成長は下地コンクリートの品質によって異なり、剥離接着強さと対応することを示した。

キーワード：コンクリート、乾燥、含水率、細孔構造、仕上げ材、塗床材、接着強さ、ふくれ

1. はじめに

コンクリートに施した仕上材に、ある期間を経て、はがれやふくれ等の故障が見られる場合がある。これらの現象は、仕上材及び接着剤の品質、温度等の熱環境等の要因による他に、下地となるコンクリートの品質も重要な要因となる。しかし、コンクリートの品質とこれらの故障の関係が解明されていないばかりか、仕上材の下地としての観点からコンクリートの品質を観察した研究さえ少ない。経験的にコンクリートの含水率が低い程、仕上材のはがれ、ふくれ等の故障が起きにくいと認識されているにすぎず、工学的な理解がなされていないのが現状である。

筆者らは、これまで困難であったコンクリートの局部含水率測定を可能にしたことから、コンクリート表面から内部にわたる品質の研究を行い、構造体コンクリートの強度、耐久性について研究を展開してきた[1,2,3]。この結果、コンクリート表面（表層）の含水率は、コンクリート内部の含水率や部材全体の平均含水率に比べ極めて早く低下すること、乾燥開始に伴い表層の細孔構造の緻密化は著しく鈍り、養生不足の場合、粗い細孔が長期的に残ることを明らかにした。そこで前報では、仕上材の下地としての観点からコンクリートの含水率及び細孔構造の変化を観察するとともに、コンクリートの表面の含水率、細孔構造とエポキシ樹脂系塗床材の接着強さとの関係を検討した[4,5]。しかし、含水率と細孔構造の影響を分離して理解することができなかった。

本研究は、水セメント比及び乾燥開始材齢を変えたコンクリートの細孔構造及び含水率がエポキシ樹脂系塗床材の剥離接着強さに及ぼす影響を検討する。また、ふくれ促進試験を行い、ふくれと下地コンクリートの品質、接着強さ試験との関係を明らかにする。

2. 剥離接着強さに及ぼす含水率、細孔構造の影響

2.1 水セメント比、含水率の影響

2.1.1 実験概要

前報では、打設直後より乾燥させた1調合のコンクリートについて、塗床材の施工時期を変え、含水率及び細孔構造と塗床材の剥離接着強さの関係をそれぞれ示したが、それぞれの影響を分離

*1 日本大学助手 生産工学部建築工学科、工修（正会員）

*2 日本大学教授 生産工学部建築工学科、工博（正会員）

*3 日本大学非常勤講師 生産工学部建築工学科

*4 日本大学大学院 生産工学研究科建築工学専攻

して理解することができな
 かった[5]。そこで、ここで
 は細孔構造を水セメント比
 により変化させ、打設直後
 より乾燥させた場合につい
 て、含水率、細孔構造の影
 響を検討した。

表-1 調合表

W/C (%)	単位 水量 (kg/m ³)	単位質量(kg/m ³)			混和剤(cc/m ³)			コンクリートの性状			
		セメ ント	細骨 材	粗骨 材	No. 70	SP-8N	No. 303A	練り温 (℃)	スランプ (cm)	Air (%)	28日圧縮強度 (MPa)
40	185	463	713	957	—	4630	20	20.0	21.9	5.0	37.1
60	185	308	838	957	770	—	38	20.5	19.8	5.0	26.4
80	185	231	908	957	578	—	40	19.5	21.4	4.7	15.4

No.70：N社製AE減水剤、SP-8N：N社製高性能AE減水剤、No.303A：N社製空気量調整剤

(1) 試験体の作製

a.コンクリート：表-1に示す調合により床部材を
 想定した剥離接着強さ試験用試験体A（15×15×50
 cm）と、細孔構造測定用試験体B（φ10×15cm）を
 作製した（図-1参照）。乾燥面は打設直後より20℃、
 60%R.H.で養生し、適時にこて仕上げを行った。

b.塗床材：A社製エポキシ樹脂系塗床材を用い、
 材令1、7、14、28日に2.0kg/m²塗布した。プライ
 マーによる下地処理は、その施工不良の最たる状態
 を想定したため行っていない。

(2) 試験方法

a.コンクリートの含水率測定：試験体Aの乾燥面
 （塗床材施工面）から0.5cmの深さにセラミックセン
 サ（φ10×5mm）を埋め込み、含水率を測定した[1]。

b.コンクリートの細孔構造の測定：細孔構造測定
 用試料は、塗床材施工時に試験体Bの乾燥面から0
 ～1cm部分を切り出し、2.5～5.0mmの粒度に調整し
 た後、アセトンによる水和の停止、続いてD-dry処理
 を施して作製した。細孔構造の測定は、水銀圧入法
 により行い、塩酸による試料中の骨材量の推定試験の併用により、セメントペースト部分の細孔
 量を求め、有効細孔量とした。

c.接着性試験：塗床材施工後14日が経過した試験体Aについて、図-2に示すようにスクレイバ
 ーで塗床材と下地コンクリートとの界面に荷重をかけ、塗床をはぐ際の最大荷重(kgf)を測定した
 [6]。この最大荷重を試験片の幅(cm)で除し、剥離接着強さ(kgf/cm)とした。試験は12回行い、測
 定値の平均により接着性を評価した。

2.1.2 結果及び考察

図-3は、塗床材施工材齢と剥離接着強さの関係を示したものである。水セメント比が小さい程、
 接着強さは大きい。またW/C=80%は施工材齢の遅れに伴い、徐々に接着強さは大きくなったが、W
 /C=40、60%では7日以降施工しても接着強さの変化は小さかった。

図-4は、塗床材施工時の深さ0.5cm部分の含水率と剥離接着強さの関係を示したものである。前
 報同様、含水率の低下とともに接着強さが上昇する結果が得られたが、接着強さは含水率だけで
 は評価できず、水セメント比も重要な要因であることがわかる。

図-5は、総有効細孔量と剥離接着強さの関係を示したものである。含水率が相違しているにも

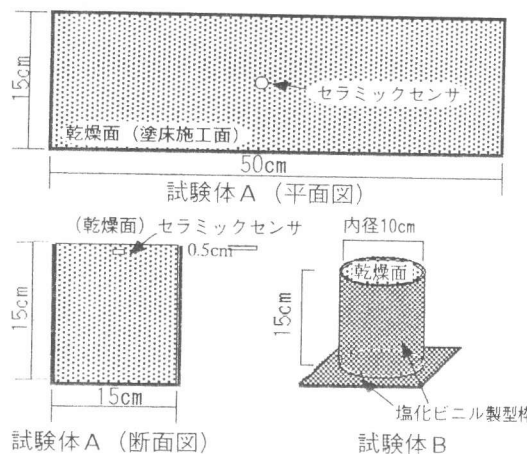


図-1 試験体

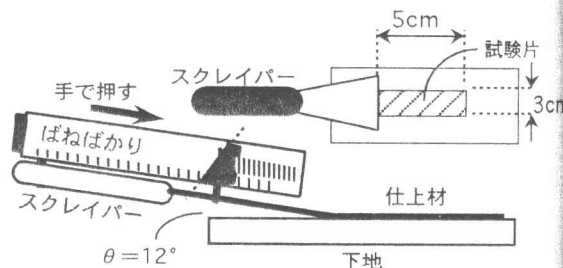


図-2 剥離接着強さ試験

かかわらず、総有効細孔量と接着強さの関係は概ねまとまっており、細孔量が小さい程、接着強さは大きい。接着強さを大きくするには、単にコンクリートの含水率を低下させるだけでなく、低水セメント比のコンクリートを十分養生することが必要であることがわかる。

2.2 初期密封養生、含水率の影響

2.2.1 実験概要

前節で、剥離接着強さは、下地コンクリートの含水率よりもその細孔構造の影響を受けやすいことを指摘した。しかし、3調合のコンクリートとも打設直後から乾燥させたため、材齢の経過に従い、含水率の低下と同時に細孔量も少なくなっている。この条件では含水率、細孔構造が任意に得られず、それぞれの接着強さに及ぼす影響度を理解することが困難である。そこでここでは、乾燥開始に伴い表層部の細孔構造の緻密化が極めて緩慢になることを示した既往の研究から、乾燥開始材齢の相違によりコンクリートの細孔構造を変化させ、セラミックセンサによる含水率の測定に基づき、所定の含水率に達した時に塗床材を施工し、この時の含水率、細孔構造それぞれが接着強さに及ぼす影響を分散分析による有意差検定により検討した[3]。

(1) 試験体の作製

a. コンクリート：表-1に示すW/C=60%のコンクリートを用い、試験体A、Bを作製した。上面のみ材齢0、1、7、14、28日より20°C、60%R.H.の雰囲気中に開放した。

b. 塗床材：A社製エポキシ樹脂系塗床材を2.1同様プライマーによる下地処理を行わずに、深さ0.5cmの質量含水率が目標値8、6、4、2%となった時に、1.0kg/m²塗布した(図-7上に塗床材施工材齢を示す)。この塗布量は、前述2.1の実験とは量が異なる。塗布量と剥離接着強さの関係は図-6に示すように、下地コンクリートの品質が同じ場合、塗布量の増加とともに剥離接着強さは大きくなる。

(2) 試験方法

2.1の実験と同様に行った。

2.2.2 結果及び考察

図-7に、含水率と接着強さの関係に及ぼす乾燥開始材齢の影響を示した。含水率の変化に比し、乾燥開始材齢の相

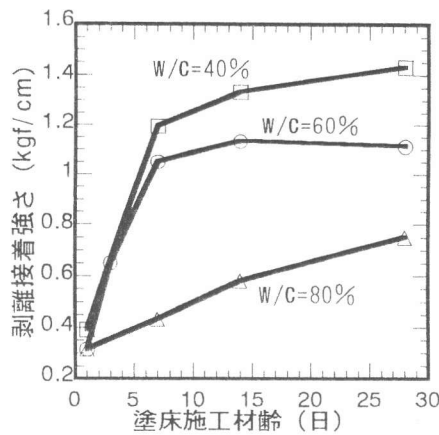


図-3 塗床施工材令と剥離接着強さ

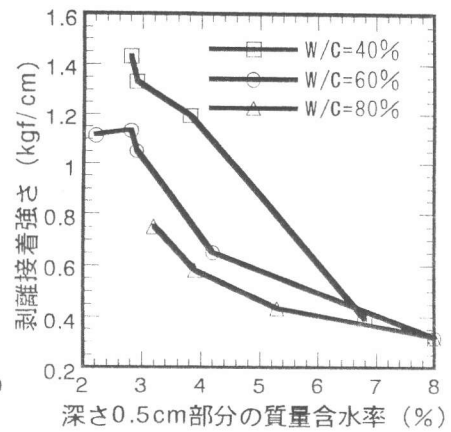


図-4 含水率と剥離接着強さ

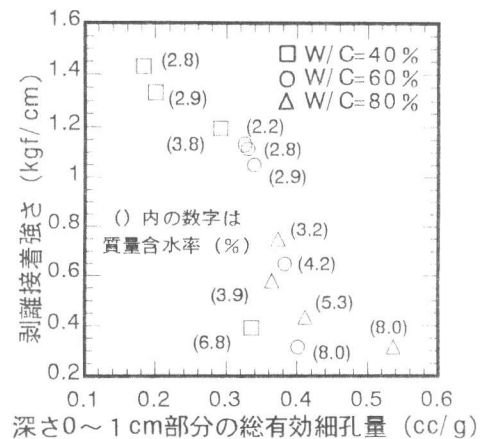


図-5 総有効細孔量と剥離接着強さ

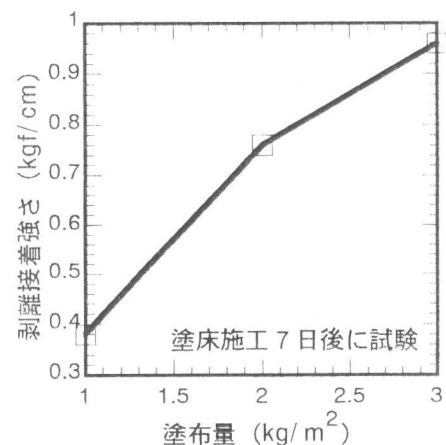


図-6 塗布量と剥離接着強さ

違による違いが大きく、乾燥開始が遅い程、接着強さは大きい。

図-8は、総有効細孔量と剥離接着強さの関係を示したものである。目標含水率が8%のもの（乾燥開始時に自己乾燥により8%を下回る場合があった）を除き、総有効細孔量と接着強さには、前述2.1の実験同様、含水率が相違するにもかかわらず、強い相関が認められ、細孔量が少ない程接着強さは大きい。ここで、剥離接着強さに及ぼすコンクリートの細孔構造と含水率の影響度を検討するため、これらを要因とする2元配置による分散分析を行い、有意差の検討を行った。ただし、コンクリートの細孔構造は、これまでに報告した研究により乾燥開始に伴い緻密化が鈍ることから、乾燥開始材齢を細孔構造を示すものとして代えて要因とし、含水率は目標含水率をもって要因とした[3,5]。表-2は、この結果を表したものである。全てを対象にした場合、両要因とも危険率1%で有意差が認められた。図-8で示した結果から含水率8%を除いて行くと、危険率5%で含水率間には有意差が認められないが、細孔構造間では危険率1%で有意差が認められた。また、含水率が8%と6%の水準間で行った場合、危険率5%で含水率間に有意差が認められたが、細孔構造には有意差が認められなかった。以上の結果より、含水率が6%を超える範囲にある限界含水率（特定はできなかった）以上では、含水率により接着強さが低下すること、含水率が少なくとも6%以下では、接着強さは細孔構造に依存することが明らかになった。この

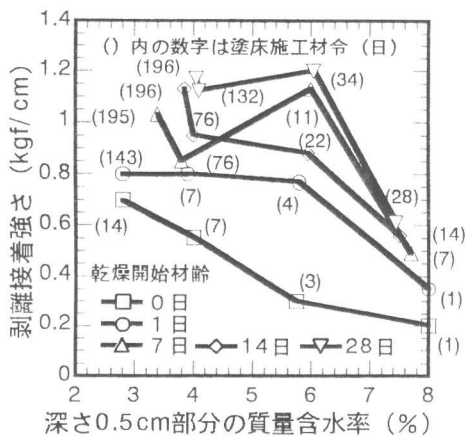


図-7 含水率と剥離接着強さ

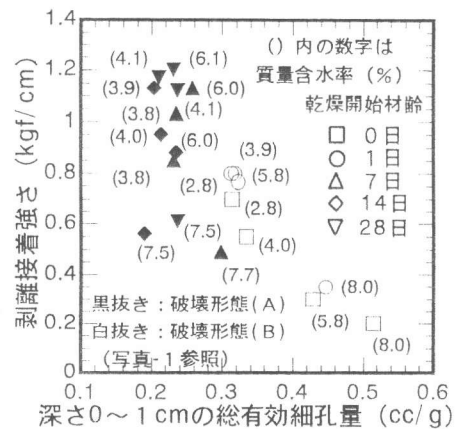


図-8 総有効細孔量と剥離接着強さ

表-2 分散分析結果

条件	変動要因	変動	自由度	分散	分散比
全水準を対象とした場合	含水率間	0.800	3	0.267	22.4**
	細孔構造間	0.825	4	0.206	17.3**
	誤差	0.143	12	0.012	—
	総計	1.769	19	—	—
含水率8%の水準を除いた場合	含水率間	0.041	2	0.021	1.4
	細孔構造間	0.739	4	0.185	12.5**
	誤差	0.118	8	0.015	—
	総計	0.898	14	—	—
含水率要因について8%と6%の水準のみとした場合	含水率間	0.428	1	0.428	18.1*
	細孔構造間	0.527	4	0.132	5.6
	誤差	0.095	4	0.024	—
	総計	1.050	9	—	—

※：危険率5%で有意差があることを示す
 ※※：危険率1%で有意差があることを示す

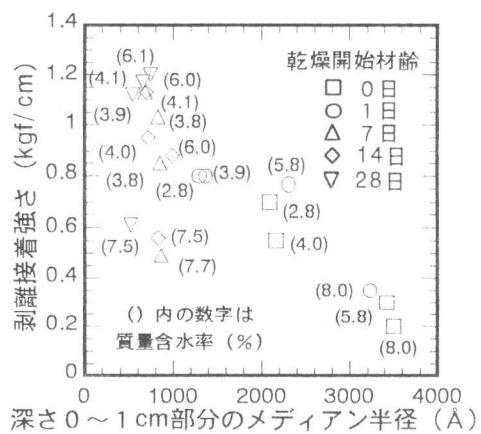
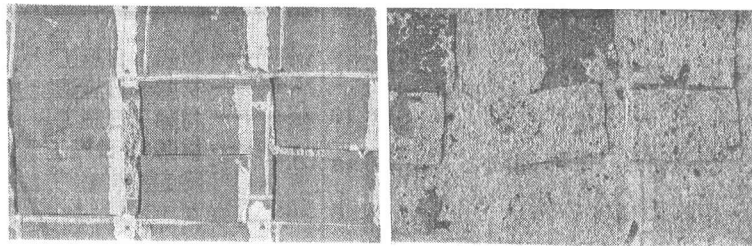


図-9 メディアン半径と剥離接着強さ

限界含水率の特定及び限界含水率以上での含水率と接着強さの関係についての検討は今後の課題であるが、含水率6%以下では、細孔構造の指標である総有効細孔量 (ETPV(cc/g))、メジアン半径 (図-9: Me 累加細孔量において全体の50%に相当する細孔半径



(A) 界面で剥離する場合 (B) 塗床にペーストが付着する場合
写真-1 剥離接着強さ試験後の破壊形態

(Å)) と剥離接着強さ (AS(kgf/cm)) の関係は、式(1)、(2)、(3)、(4)で表せられる。なお、本実験における総有効細孔量とメジアン径間の単相関係数は、0.94であった。

$$AS = -3.58 \times ETPV + 1.86 \quad (\text{単相関係数} = 0.89) \quad (1)$$

$$AS = -0.000278 \times Me + 1.25 \quad (\text{単相関係数} = 0.92) \quad (2)$$

$$AS = -0.000626 \times (ETPV \times Me) + 1.14 \quad (\text{単相関係数} = 0.91) \quad (3)$$

$$AS = -1.03 \times ETPV - 0.000205 \times Me + 1.44 \quad (\text{重相関係数} = 0.92) \quad (4)$$

写真-1は、剥離接着強さ試験後の代表的な界面の状態を示している。破壊形態は、まさに塗床材と下地コンクリートの界面で起きている場合(A)と塗床材側に極薄くコンクリート(ペースト)が付着する場合(B)に大別される。これらは実際のはがれ、ふくれの故障にも見られる破壊形態である。この違いを図-8上に示した。この違いは含水率によらず乾燥開始材齢によって分けられ、初期密封期間が少ない場合の破壊形態は後者である。また、前述2.1の実験は、全て打設直後から乾燥した試験体によって行ったが、その破壊形態も全て後者(B)であった。はがれの破壊形態の違いは、水セメント比、含水率によらず打設後初期の養生によることがわかる。

3. ふくれと下地コンクリートの品質の関係

3.1 実験概要

はがれの形態としてふくれがある。ここでは、下地コンクリートの品質が、ふくれに及ぼす影響をふくれ促進試験によって検討する。また、これまで検討してきた剥離接着強さとふくれ促進結果との関係を示し、2章の実験で得られた知見との対応を図る。

(1) 試験体の作製

a. コンクリート：表-1に示す水セメント60%の調合により試験体C(φ20×15cm)を作製した。乾燥面は打設直後より20℃、60%R.H.で養生し、仕上材施工面はこて仕上げを行った。

b. 塗床材：軟質エポキシ系塗床材(ふくれを誘発する目的で配合された基剤に可溶性の成分を含む無溶剤系エポキシ樹脂)を用い、材齢1、7、14、28日に1.0kg/m²塗布した。2章の実験同様、プライマーによる下地処理は、その施工不良の最たる状態を想定したため行っていない。

(2) 試験方法

次に示したふくれ促進試験以外は、2章の実験と同様に行った。

a. ふくれ促進試験：田中らが提案した方法に準じて行った[7]。塗床材施工後14日間(20℃)経過した試験体(側面及び底面開放)について、水位が上面から-1cmとなるよう温度30℃の水に浸した。試験は20℃恒温室で行ったので試験体上面は20℃の雰囲気中にある。発生したふくれはビニールシートをあて写し取り、スキャナーによりコンピュータで処理しふくれ部面積を求め、全

塗床面積で除しふくれ面積率とを計算した。

3.2 結果及び考察

図-10は、促進期間とふくれ面積率の関係を示す。塗床材施工材齢28日の試験体は促進期間60日を経過してもふくれが発生していない。塗床材施工材齢が早い程、ふくれの発生が早

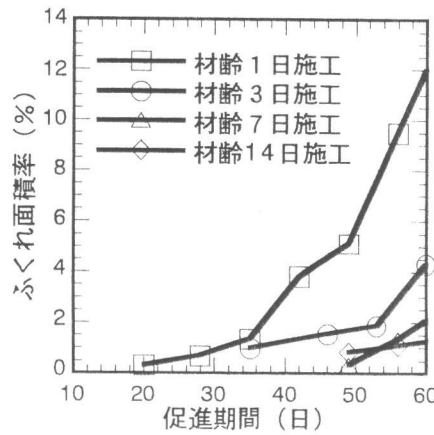


図-10 促進期間とふくれ面積率

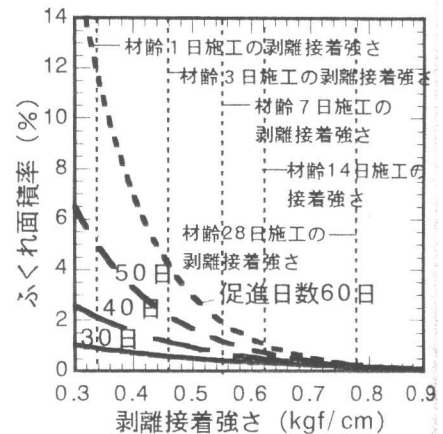


図-11 剥離接着強さとふくれ面積率

く、ふくれ面積の増加が著しい。この結果は剥離接着強さとの関係に対応する。そこで、図-11は剥離接着強さ（A社製エポキシ樹脂系塗床材、塗布量 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$ で得られた値）とふくれ面積率の関係を示したものである。図中に塗床施工材齢ごとの剥離接着強さの位置も示した。剥離接着強さが小さい程、ふくれ面積率は大きい。これは促進期間が長くなる程顕著となった。具体的な方法として確立するには更に検討を要するが、この関係及び2章で得られた知見を用いることにより、今後、ふくれ防止の観点からの下地コンクリートの品質管理が可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) コンクリートの水セメントが小さい程、剥離接着強さは大きい。
- (2) コンクリートの初期密封期間が長い程、剥離接着強さは大きい。
- (3) コンクリートの含水率が6%以上では、含水率により剥離接着強さが低下する。
- (4) コンクリートの含水率が6%以下では、剥離接着強さはコンクリートの細孔構造に依存する。
- (5) はがれの破壊形態は、水セメント比、含水率によらず打設後初期の養生により異なり、打設初期から乾燥する場合、塗床材にペーストが付着する。。
- (6) ふくれの発生・成長は下地コンクリートの品質によって異なり、剥離接着強さに対応する。

謝辞 本研究全般にわたり、ご指導頂きました笠井芳夫教授に深く感謝いたします。、また、ふくれ促進試験の実施に際し東京工業大学田中享二助教授、同研究室並びに（株）エービーシー商会研究所の方々のご助言、ご協力を頂きました。記して謝意を表します。なお、本研究の一部は、平成6、7年度文部省科学研究費（一般研究（C））の交付を受けて行ったものであります。

参考文献

- [1] 笠井芳夫・松井勇・湯浅昇：埋め込みセラミックセンサによるコンクリートの含水率測定方法、第20回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp.7-12、1993
- [2] 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：表層コンクリートの品質の検討（乾燥に伴う含水率分布と細孔構造の変化）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp.449-450、1994
- [3] 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：表層コンクリートの品質の評価（乾燥を受ける表層コンクリートの細孔構造の経時変化）、日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp.199-200、1994
- [4] 湯浅昇・田中享二・浅見勉・橋田浩：塗り床を対象とした下地コンクリートの含水率分布及び細孔構造、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.675-680、1994
- [5] 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇・逸見義男：エポキシ樹脂系仕上げ材を施工したコンクリートの含水率細孔構造及び仕上げ材の接着性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17、No.1、pp.695-700、1994
- [6] 佐藤弘和・笠井芳夫・松井勇・逸見義男・湯浅昇：皮剥式仕上材接着強さ試験方法の提案、日本大学生産工学部第27回学術講演会、pp.13-16、1994
- [7] 大森修・田中享二・内田昌宏：下地コンクリートに施したエポキシ樹脂系塗り床ふくれに関する研究、日本建築学会関東支部第65回研究報告集構造系、pp.169-172、1995