塗り床のふくれ発生に及ぼす下地コンクリートの影響

EFFECT OF PROPERTY OF SUBSTRATE CONCRETE ON BLISTERING OF EPOXY RESIN FLOOR COATINGS

田中 享二^{*1}, 内田 昌宏^{*2}, 大森 修^{*3}, 裴 基 善^{*4}
Kyoji TANAKA, Masahiro UCHIDA, Osamu OHMORI
and Keesun BAE

Effect of property of substrate concrete on blistering of floor coatings is studied from the two view points such as property of concrete itself and surface characteristics. The concrete specimens of various water cement ratios, on which floor coatings is applied, were exposed in the accelerated condition for reproducing blistering, and growth of blisters were observed for a few months. After the test, adhesive strength was measured and the concrete surface was observed through a microscope. It was found out that blistering is much influenced by the water flux property induced by semi-permeability of concrete, and the distribution of adhesive strength caused by exposed materials on surface such as cement paste, aggregates and laitance.

Keywords: blistering, epoxy resin, floor coatings, concrete substrate, surface, adhesive strength

ふくれ, エポキシ樹脂, 塗床, コンクリート下地, 表面, 接着力

1. はじめに

コンクリートを下地とする塗床にはふくれが発生することがあるが、その主たる発生機構はコンクリートを介しての水分の一方向移動による塗床材裏面での集積と、そのことによる圧力上昇であることを、前報¹⁾では明かにした。この現象にはコンクリートの性質が強く関与していることは明かであり、この欠陥を未然に防止するためには、下地コンクリートのふくれ発生に及ぼす影響を知ることが不可欠である。

下地コンクリートの影響は二つの観点から検討する必要があると思われる。ひとつは、ふくれを発生させる駆動力にどのような影響をもつかという点である。すでに述べたように、ふくれの駆動力は水分の一方向移動に起因する浸透圧と考えられ、コンクリートによってその大きさは異なると想像されるからである。

いまひとつは、下地コンクリートの塗床材の接着力に及ぼす影響である。実際の塗床に生ずるふくれは、ただひとつだけが発生するというはまれで、ほとんどの場合、直径が数十ミリメートル以下のものが数多く発生する。この現象はふくれに伴う水分の蓄積が、塗床材と下地コンクリート表面との間であったことから判断して、ふくれ現象は両者間での接着部の破壊として理解されるが、コン

リート表面はミクロ的には均質ではないため、接着力が均一であるとは考えにくい。さらに一般に水分の多い環境下では、接着力が低下する傾向にあることを考慮すると、下地コンクリートの表面性状の接着力に及ぼす影響の解明もまた重要である。

このような観点から、本研究では下地のコンクリートに焦点をあわせ、コンクリート自身およびその表面の性質がふくれ発生に及ぼす影響について検討した。

なお既往の研究についてであるが、床材のふくれに関しては以前から強い関心がもたれ、下地コンクリートの半透過性的性質がその原因のひとつであるとの立場から、W. J. Warlow等²⁾、M. Gunter等³⁾、中井等⁴⁾により研究がなされている。しかしいずれの研究も原因指摘の段階に留まっており、下地コンクリートのおよぼす影響について検討されるまでには至っていない。

また塗床材料と下地コンクリートとの接着力については、古くは前述のM. Gunter等³⁾、喜田等⁵⁾の直接引張試験による検討、最近では、逸見等⁶⁾の皮はぎ式剥離接着強さ試験法、守屋等⁷⁾のベルジャーをかぶせての減圧試験法などユニークな試験法の提案がなされている。しかし、接着力の細かな分布を調べる目的には、これらの試験法では測定部分のサイズが大きすぎるように思える。この観点か

^{*1} 東京工業大学建築物理研究センター 助教授・工博

^{*2} エービーシー商会研究所

^{*3} 旭化成建材(元東京工業大学 大学院生) 工修

^{*4} 東京工業大学 大学院生・工修

Assoc. Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Research Laboratory, ABC Trading, Co., Ltd.

Asahi Chemical Construction Materials Co., Ltd., M. Eng.

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

らの塗床の接着力分布はほとんど検討されていないのが実状である。

2 ふくれ促進試験

2.1 下地コンクリート

下地コンクリートは、水セメント比45%、60%、75%の3種類のコンクリートである。調合を表1に示す。目標のスランプ値18cmとするためAE減水剤の添加量を変えたが、出来上がったコンクリートはスランプ値20～21cmの多少軟らかめのものとなった。寸法は直径490mm、厚さ120mmの円盤状の下地とした。使用した骨材の性状を表2に示す。コンクリート打ち込み後28日間、20℃恒温室で気中養生を行った。またその表面はサンドペーパー（No.180）で研磨し、充分清掃した状態とした。

2.2 ふくれ観察用試験体

上述の下地コンクリートにエポキシ樹脂系塗床材を塗布した。ここで用いた塗床材は、図1に力学的特性を示す軟質塗材、硬質塗材、各1mmずつの2層構成のもので、ふくれ発生を容易にするため、通常の硬質塗材の下側に軟質塗材料を積層したものである。試験体作製手順を図2に示すが、試験体完成までに下地コンクリート打ち込みから6週間要する。

2.3 ふくれ圧力測定用試験体

ふくれ圧力の測定では、ふくれの発生する位置に圧力測定器を設置することが大切である。しかしその位置を予測することは現状では難しい。そのため、圧力測定用試験体では、軟質塗材を塗布した段階で後述のふくれ促進環境に試験体を設置し、小さなふくれが発生した時点で、その位置に圧力測定器（共和電業社製PGM-10KE）を取り付けた。ふくれ発生までの時間は水セメント比により異なるため、その取り付け時期が異なり、結果的には水セメント比75%の場合が一番早く試験開始7日後、60%の場合が28日後、45%の場合が160日後であった。

圧力測定器の取り付け方法は、ふくれ部分の塗材を直径10mmでくり抜き、下地コンクリート表面を露出させ、図3に示すように下側の軟質塗材に測定器の端部を乗せ、その後硬質塗材を1mm塗布した。圧力測定部分の空間は約0.13CCの容積となる。さらに試験時の取扱上の安全のため、圧力測定器のまわりをエポキシパテにより補強した。

図-3 圧力測定器取り付け状態

表-1 下地コンクリートの調合

W/C (%)	細骨材率 (%)	単位重量 (kg/m³)				AE減水剤 (kg/m³)	スランプ (cm)	空気量 (%)
		水	セメント	細骨材	粗骨材			
45	41.5	185	414	692	988	1.04	20.0	3.0
60	46.1	172	172	829	988	0.72	20.9	4.0
75	48.5	165	165	915	988	0.55	21.2	5.0

セメント：普通ポルトランドセメント

骨材：細骨材：静岡県沢岡産の大井川陸砂

粗骨材：静岡県沢岡産の大井川陸砂利

AE減水剤：リグニンスルホン酸化合物系

表-2 骨材の性状

	表乾比重 (g/cc)	吸水率 (%)
細骨材	2.60	1.30
粗骨材	2.65	0.73

図-1 塗り床材の応力-ひずみ曲線

図-2 試験体作製手順

2. 4 試験方法

各試験体は、前報告¹⁾で述べたふくれ促進環境、すなわち図4に示すように30℃の温水を入れた容器にコンクリート表面から10mmの位置まで浸漬させ、表面は20℃温度下に露出させ、静置した。

ふくれ観察用試験体については、定期的に塗床材に発生するふくれを目視により観察し、ふくれの位置、大きさを記録した。一般に、ふくれはまず試験体の外周に生じ、その後、全面にわたり発生する傾向が見られる。すなわち外周近傍のふくれの発生は、試験体の外側が直接水に接していることによるためであり、床として考えた時の下側からの水の移動とはみなしにくい。そのため下地コンクリート厚さと同じ寸法120mmの外周範囲は、水に外接していることの影響と考え、観察範囲から除外し、ふくれ観察は中央部分直径250mmの部分に限定した。

圧力測定用試験体については、一層目の軟質塗材を塗布後、同じように水に浸漬させ中央部直径250mm以内の部分でのふくれ発生確認の後、ただちに前述の手順に従い圧力測定器を取り付け、その後の圧力変化を一日おきに測定した。なお圧力測定器はふくれ2箇所に取り付けた。

図-4 ふくれ促進試験状況

2. 5 試験結果および考察

(1) ふくれの発生状況

試験体中央部直径250mmの観察領域内のふくれ発生状況の観察結果を図5に、またふくれの発生した面積を塗床材塗布面積の割合で表し、図6に示す。下地コンクリートの水セメント比により明瞭な差があり、ふくれが生じはじめたのは、水セメント比75%で10日目、60%で30日目、45%で160日目であった。またその後のふくれの増加も水セメント比が大きな場合に顕著であり、水セメント比75%では試験開始後100日程度、60%では150日程度であらかたのふくれは出てしまい、その後のふくれ成長は緩慢となったのに対し、水セメント比45%の場合は1年間の観察でも、塗床全面積の2割程度しかふくれなかった。

(2) ふくれ部およびその近傍の界面の顕微鏡観察

塗床材と下地コンクリートの界面の状態を調べるために、塗床材のふくれ部分とその近傍を下地コンクリートより剥し取り、両面の顕微鏡観察を行った。塗床材裏面を写真1に、下地コンクリート側表面を写真2に示す。

まず塗床材裏面であるが、ふくれ部分の面は比較的平滑であり、下地と接着していた部分は無理に引き剥したためと思われるが、塗床材もしくは下地コンクリート部分が破壊され、凹凸状となっている。またふくれの境界にそって亀裂がみられる。これはふくれ境界部分での急激な曲げに対して、エポキシ塗床材の変形能力が十分でなかったためと推定される。

経過 日数	ふくれ促進環境		
	W/C=0.45	W/C=0.60	W/C=0.75
10日	ふくれなし	ふくれなし	
30日	ふくれなし		
60日	ふくれなし		
100日	ふくれなし		
150日			
300日			

図-5 ふくれ発生状況の観察結果

図-6 ふくれ発生面積比率の変化

次に下地コンクリート側表面であるが、ふくれ発生部分は比較的なめらかである。一方塗床材と良く接着していた部分は、やはり無理に引き剥したため凹凸で塗床材が残されており、細骨材が見られる。

塗床材塗布前に、前処理としてサンドペーパーで表面を研磨したが、細骨材が見られる部分は良く研磨された部分であり、なめらかな部分は、研磨されず、レイタンスがそのまま残留している部分にほぼ対応している。

写真-1 塗り床材裏面

写真-2 下地コンクリート表面

(3) ふくれの圧力

ふくれ圧力の変化を図7に示す。圧力は単調に上昇するのではなく、上昇と下降を不規則に繰り返している。圧力が急激に低下しているところは、ふくれ内部圧力の上昇により、塗床材が下地から剥離し、ふくれ容積が変化したためと推定される。この場合も下地コンクリートの水セメント比の影響が顕著にみられており、水セメント比の大きい下地コンクリートの場合に圧力の発生が早く、また最大となった時の圧力値も高い。ここでの測定では、水セメント比が75%の試験体では、0.13MPaの正圧が観測されたが、60%の場合では0.03MPa、45%の場合では、圧力測定器取り付け後の日数が少ないせいもあるが、ごくわずかの正圧が生じているのみである。

(4) コンクリートの半透過性に起因する水の移動速度

これらふくれの発生が下地コンクリートの水セメント比によって異なるのは、ふくれ内部が水溶液で満たされていることから判断して、コンクリートの半透過性に起因する、ふくれ内部溶液側への水の流入速度の差によると推定される。そのためこの水の移動速度測

図-7 ふくれ内部圧力測定結果

定をおこなった。なお、ふくれへの水移動の原因は、前報告¹⁾でも述べたが、塗床層裏面には結露等のため水分の生じることがあるが、エポキシ樹脂系塗床材には水可溶性の有機成分が含まれ、この成分が溶出し濃度を持った溶液となり、この溶液を薄めようとして、近傍のコンクリート中の水分が移動するためと推定される。

試験体は水セメント比45%、60%、75%とし、ふくれ試験における下地コンクリートと同じ調合のものを、直径190mmφ、厚さ120mmの円筒状型枠に打ち込み、気乾状態で3ヶ月養生したものである。これからさらに、100mmφのコアを抜き取り、その中央部分より厚さ20mmで切り出したものを試験体とした。この試験体を図8に示す浸透水量測定装置に取り付けた。I側容器にはイオン交換した蒸留水を、II側容器にはエチルセロソルブ5%溶液（塗床ふくれ内部水として検出されたエポキシ塗床材可溶性成分で測定された濃度）を入れ、30℃の環境下に静置した。浸透量は、2日毎にガラス管の水頭差を0.5mm単位で読み取った。試験体は2個である。

測定結果は2個の平均単位面積当りの移動水量として表し、図9に示す。コンクリート板を介して蒸留水側からエチルセロソルブ側へ、水がほぼ直線的に移動している。これをもとに大まかな水の移

図-8 浸透水量測定装置

図-9 単位面積当たりの移動水量

動速度を算出し、表3に示す。この場合も下地コンクリートの水セメント比の影響が顕著であり、水セメント比が大きくなるに従って、移動速度が大きくなっている。このことが、水セメント比の大きな下地コンクリートに施工した塗床で、ふくれの発生が活発であったことの理由であると推定される。

3 塗床材と下地コンクリートの接着力

ふくれ部分を解体し観察した結果から、塗床裏面では接着部分と非接着部分が混在していることが明かになったが、このことは、エポキシ塗床材と下地コンクリートの接着力が均一ではないことに起因していると思われる。このことの確認のため、接着力の分布を測定した。

3.1 試験体

ふくれ促進試験と同様の水セメント比45%、60%、75%の3種類の下地コンクリートを作り、養生後、表面を研磨、清掃し、エポキシ系塗床材を塗布した。ただし、下地との接着力の測定の目的には、上塗の硬質塗材は不要であり、下塗軟質塗材1mmのみの構成とした。塗床材を7日間養生したのち、表層部を直径30mm、厚さ5mmの大きさに切り出し、試験体とした。その後、これら試験体を20℃の気乾状態に保管したが、実際のふくれ箇所には水分が充満されていることを考慮し、別途、全体を水中に浸漬させ、充分吸水させた試験体も用意した。

3.2 測定方法

ふくれは、最初は数mm程度の微小なものが発生することから、通常採用されるような数センチ以上のスケールの接着力試験では、小さい面積間の接着力の不均一性を的確に評価することは難しいと思われる。そのため、ここでは図10に示す小面積接着力試験方法を工夫した。まずエポキシ塗床材にカッターナイフで2mm×2mmの格子状の切り込みを下地コンクリートに到達するまで入れる。次いで塗床材表面に、補強材としての金属線を内蔵するプラスチック紐を、エポキシ樹脂系高速硬化型接着剤で接着させる。これを引張試験機

表-3 浸透水の移動速度

W/C (%)	移動速度 (cc/cm²・sec)
45	3×10^{-9}
60	4×10^{-9}
75	6×10^{-9}

図-10 小面積接着力試験方法

に取り付け、20℃環境下で1mm/分の速度で引張り、接着力を測定した。あわせて破断面の状態も観察した。

3.3 試験結果および考察

(1) 接着力分布

一例として、下地コンクリートの水セメント比60%の場合の接着力分布を、気乾状態試験体、水中浸漬後試験体について図11に示す。接着力は、気乾状態試験体で最大4.6MPa、最少0.7MPaであり、6.5倍程度の違い、水中浸漬後試験体では最大2.4MPa、最少0.2MPaと12倍程の違いがあり、非常に大きなばらつきがある。

破壊位置については、もっとも多かったのが塗床材と下地コンクリートとの界面であった。その部分を顕微鏡で観察すると、緑色の塗床材が薄く付着している部分と全く付着していない部分とがある。前者は、セメントペーストあるいは骨材部分であり、後者は表面がなめらかで光沢があり、下地が研磨されずにレイタンスが残留していた部分である。また部分的にレイタンス部を破壊した領域もあり、その場合は灰色の下地部分の破損として観察された。

またそれ程多くはなかったが塗床層自体での凝集破壊も見られた。

(2) レイタンスの残留比率と接着力との関係

接着力にはレイタンス部分の存在が大きな影響を与えているようであり、水セメント比60%のレイタンス部分の面積と接着力との関係を調べ図12に示す。レイタンス部面積は、目視で10%程度で大きく区分分けをし、整理してある。レイタンス部分が多くなると明らかに接着力が減少しており、塗床材塗布前のレイタンスの残留は接着力に悪影響を及ぼしていると思われる。

(3) 下地湿潤の影響

接着力に及ぼす水分の影響は顕著であり、すべての試験体で接着力はおおよそ半分位まで低下している。すなわち塗床材裏面の水分は接着力低下の大きな要因であると考えられる。また気乾状態では、下地部分での破壊例もかなり存在していたが、湿潤状態では塗床材と下地との界面での破壊がほとんどとなっている。

(4) 下地コンクリートの水セメント比の影響

水セメント比別の接着力の影響を図13に示すが、接着力に及ぼす下地コンクリートの水セメント比の影響はほとんど見られなかった。これには、破損箇所は塗床材と下地の界面が多く、また下地で破損した場合でもレイタンス部分であり、結果として下地コンクリートの本体部分の性質が、直接、接着力に反映しなかったためと思われる。

4 結論

ここでは、下地のコンクリート自身及びその表面の性質がふくれ発生に及ぼす影響について検討した。得られた本研究の結論は以下のとおりである。

(1) 塗床のふくれは、下地コンクリートの水セメント比の影響を受け、水セメント比が高くなるほど発生しやすくなる。

(2) またこの時、ふくれ内部の圧力も高まっているが、これも下地コンクリートの水セメント比の影響を受け、水セメント比が高い場合に、圧力発生までの時間も早く、またここまでの測定では、最大圧力も高い。

(3) これにはコンクリートの半透過的性質に起因するふくれ溶液側への水分移動が強く関与していると思われる。

図-11 小面積接着力分布 (W/C 60%)

図-12 レイタンス部分の面積と接着力 (W/C60%)
(試験体2体の合計)

図-13 水セメント比別接着力

(4) 塗床材と下地との接着力は、数倍から十倍程度にばらついて分布しており、特にレイタンス部分の接着力が低いこと、また湿潤状態では著しく接着力の減少することが明らかになった。

謝辞

本研究を行うにあたり、(株)エービーシー商会前研究所長、浅見 勉氏には大変お世話になりました。また清水建設(株)技術研究所、橋田 浩氏、日本大学生産工学部建築工学科、湯浅 昇氏からは、研究上の貴重な討論をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 田中享二、内田昌宏、大森 修、橋田 浩、湯浅 昇：塗り床のふくれ発生機構の一考察；日本建築学会構造系論文報告集、第48号、掲載予定
- 2) W. J. Warlow and P. W. Pye: Osmosis as a cause of blistering of in situ resin flooring on wet concrete; Magazine of

concrete research, Vol. 130, No. 104, pp. 152-156, 1978

- 3) M. Gunter and H. K. Hilsdorf: Influence of physical and chemical interactions between concrete substrate and organic surface coatings on bond strength; Durability of

non-metallic inorganic building materials, pp. 161-174, 1988

- 4) 中井唯喜、村上信直、平野竜行：塗り床仕上げの標準化に関する研究(その2) 故障要因に関する一考察；日本建築学会大会学術講演梗概集(A)、pp. 103-104, 1988

- 5) 喜田大三、住田正博：若材令未乾燥コンクリート面の仕上げ工法の研究(その1)；日本建築学会大会学術講演梗概集(A)、pp. 175-176, 1985

- 6) 逸見義男、湯浅 昇、佐藤弘和、松井 勇、笠井芳夫：下地コンクリートの含水状態及び細孔構造がエポキシ樹脂系塗り床の接着性に及ぼす影響；日本建築学会大会学術講演梗概集(A)、pp. 1401-1402, 1995

- 7) 守屋正祐、川地 武：コンクリート面塗膜の試験方法の提案；日本建築学会大会学術講演梗概集(A)、pp. 1401-1402, 1995

(1996年7月10日原稿受理, 1996年10月31日採用決定)