SL 材の不具合の予測方法の枠組みの提示

SL 材の不具合からみたコンクリート床下地の表層部品質の評価方法 (その3)

OUTLINE OF DEFECT PREDICTION METHOD FOR SELF-LEVELING MATERIAL

Evaluation method about surface layer quality of concrete floor groundwork
corresponding to defect in self-leveling material (Part 3)

横山 裕*1, 金 兜 鎬*2, 横井 健*3, 崔 寿 昊*4

Yutaka YOKOYAMA, Doo Ho KIM, Takeshi YOKOI
and Soo Kyung CHOI

Relations between defects in self-leveling material and surface quality of concrete slab were experimentally examined. A defect occurrence situation was changed greatly by condition of slab surface. Then, situations were classified into three kinds, "No defect", "Separation" and "Crack". Moreover, it became clear that defect occurrence situation can be predicted by amount of surface moisture and volume of micro voids. Then, when cracks may be occur, amount of cracks can be predicted by surface strength. Those measurements can be easily done in actual construction sites. Therefore, this defect prediction method greatly contributes to performance gain of floors.

Keywords: self-leveling material, separation, crack, concrete floor groundwork, surface quality, evaluation method

セルフレベルング材, 剥離, ひび割れ, コンクリート床下地, 表層部品質, 評価方法

1. はじめに

近年、コンクリート床下地(以降、単に“床下地”と記す)上に比較的流動性が高いスラリー状の材料で自己平坦性があるセルフレベルング材(以降、“SL材”と記す)を施工する工法が、様々な用途の建築物の新築、改修工事で採用されるようになってきたが、それにとともに、施工後のひび割れや床下地との剥離などの不具合が発生する事例が多く報告されるようになってきている。SL材の不具合には、SL材の特性や施工条件などとともに、床下地の表層部品質が大きく影響していると想定される。したがって、不具合の発生を未然に防ぐためには、SL材施工前に床下地の表層部品質を測定、評価し、施工後に発生する不具合を予測できる枠組みを確立する必要がある。

筆者らは、この枠組みの確立を最終的な目的とした研究の基礎的段階として、前報(その1)¹⁾では、床下地試験体にSL材を施工し、発生する不具合の経時変化や試験体の大きさが不具合におよぼす影響などについて検討した。さらに、前報(その2)²⁾では、SL材を使用する例が比較的多い高強度コンクリート製の床下地を対象に、表層部に関する品質項目の1つである表面強度とひび割れの関係を定量的に検討した。

本報は、より多くの種類のコンクリートを対象に、表面強度以外の項目も含む様々な床下地の表層部品質とSL材に発生する不具合との関係を実験的に検討し、種々の床下地に共通に適用できる不具合の予測方法の枠組みを提示した経過、結果を述べるものである。

2. 研究目的, 範囲

前報(その2)では、高強度コンクリート製の床下地を対象とした

検討を行った。これは、フレッシュコンクリートの状態での特性が通常のコンクリートと大きく異なり、床スラブに使用した場合土間工の「ならし」、「仕上げ」などの上面仕上げ作業がしにくいため、所定の精度を確保する目的でSL材を使用する例が比較的多いことによる。一方、集合住宅などでは、使用者の精度に対する要求が近年ますます高まっていることから、床下地に用いるコンクリートの種類のいかに関わらずSL材を用いる事例が多くなってきている。また、既存建築物の改修工事などの際には、使用されているコンクリートの材料、調査および施工条件やその後の使用状況などが明らかでない床下地にSL材を施工しなければならない場合も多々あると思われる。すなわち、SL材の不具合の予測方法は、床下地のコンクリートの種類などのいかに関わらず適用できる方法であることが望ましい。よって本報では、対象とする床下地のコンクリートの種類を特に限定せず、表層部品質を共通の手順で測定、評価し、SL材の不具合を予測する方法の枠組みを提示することを目的とする。

なお、前報(その1)および(その2)と同様、具体的なコンクリートの材料、調査や床下地の施工条件などと表層部品質との関係の検討、あるいはコンクリートの材料、調査や床下地の施工条件などとSL材の不具合との関係の検討は、本研究の範囲外とする。また、本報は枠組みの提示を目的としているので、対象とするSL材の種類および塗り厚などは代表的な1種とし、当該SL材に規定された方法で施工することとする。なお、SL材の種類および塗り厚などを多様にした検討は、本報で提示される枠組みを適用することによる次報以降の課題とする。

*1 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 准教授・工博

*2 当時 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 博士(工学)

*3 東海大学工学部建築学科 講師・博士(工学)

*4 韓瑞大学校工学部建築工学科 副教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Graduate School of Science and Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng. Graduate School, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Junior Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Eng., Tokai University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architectural Eng., Faculty of Eng., Hanseo Univ., Dr. Eng.

3. 既往の研究

前報(その1)で述べた通り、SL材に関する研究例は非常に少なく、SL材のひび割れや剥離、およびこれらと床下地との関係などを対象とした研究例は、前報(その1)、(その2)以外にみあたらない。

前報(その1)では、数種のコンクリートを用い、大きさの異なる数段階の床下地試験体を作成したうえで、各試験体上にSL材を施工し、不具合の発生状況や経時変化を観察するとともに、試験体の大きさの影響などについて検討した。その結果、以下に示す知見が得られた。

- ・ SL材の不具合の発生状況は、床下地により大きく異なった。一部の試験体では、SL材施工後比較的早い段階(施工後1週程度以内と思われる)で試験体周囲から剥離が発生した(以降、この剥離を“早期剥離”と記す)。この原因の1つとして、他の試験体と比較して、床下地表層部に含まれる水分量が大きいことが推察された。一方、早期剥離が発生しなかった試験体では、その後ひび割れが発生し、さらにひび割れの成長にともない幅の大きいひび割れに沿って剥離が発生した。
 - ・ ひび割れの経時変化を観察したところ、ひび割れは施工4週後程度までに発生し、以降12週後程度までは発生したひび割れの幅が増加する傾向がみられた。すなわち、SL材のひび割れについて検討する場合、SL材施工後、仕上げを施さない状態のまま、ひび割れ幅の増加がほぼみられなくなるまで記録、測定を継続するのが適当と考えられた。また、ひび割れの程度を表す指標としては「ひび割れ長さ×幅」を用いるのが、現段階では適当と考えられた。
 - ・ 床下地の表面凹凸が極端に大きく、SL材の塗り厚が著しく薄い(厚い)部分や塗り厚の変化が著しく大きい部分がある試験体では、その部分からひび割れが発生した。
 - ・ 大きさの異なる3段階の試験体(600×2700mm, 600×1200mm, 600×600mm)で、ひび割れや剥離の発生状況に大きな違いはみられなかった。すなわち、少なくともこの範囲内では、試験体の大きさはひび割れや剥離に大きくは影響しないとみなすことができた。
- さらに、前報(その2)では、SL材の施工例の多い高強度コンクリート製床下地を対象に、水分量の影響が現れないよう留意して準備した試験体を用いて、ひび割れと、ひび割れに大きく影響する品質項目の1つと思われる表面強度との関係を検討した。その結果、以下に示す知見が得られた。
- ・ 床下地試験体の表面強度を、日本建築工学会式引っかかり試験器法、建研式接着力試験器法、および筆者らが考案したせん断強度試験器を用いる方法の3種の方法で測定し、相互の関係を検討した。その結果、3種の方法による測定結果には互いに高い相関がみられた。
 - ・ 高強度コンクリート製床下地の表面強度は、普通コンクリートと比較して必ずしも大きいとは限らず、むしろ大きくは異なる場合が多い。
 - ・ いずれの試験体でも早期剥離は発生せず、ひび割れが発生した。ひび割れの経時変化の傾向は、前報(その1)と同様であった。
 - ・ ひび割れの経時変化と、別途測定したSL材の収縮率の経時変化は、同様の傾向を示した。すなわち、SL材の収縮とひび割れの発生、成長には因果関係があることがうかがえた。
 - ・ SL材のひび割れ長さ×幅と床下地の表面強度には高い相関があ

り、表面強度が小さいほどひび割れの程度が大きくなる傾向がみられた。

本報では、以上の知見を参考に、対象とするコンクリートの種類と表層部の品質項目を多様にした検討を行うこととした。

4. 研究方法

本報における研究方法、手順は、以下の通りである。

- ① コンクリートの材料、調合や作製時の施工条件などが異なる、種々の床下地試験体を作製する。
- ② ①で作製した試験体を対象に、種々の表層部品質を測定する。
- ③ ②で表層部品質を測定した試験体上に、SL材を施工する。
- ④ ③で施工したSL材のひび割れ、剥離の発生状況を定期的に記録するとともに、ひび割れの長さ、幅を測定する。記録、測定は、ひび割れ、剥離の発生、成長がほぼ止まったとみなせる時点まで継続する。
- ⑤ ②で測定した表層部品質と、④で記録、測定したひび割れ、剥離の関係を検討する。
- ⑥ ⑤の検討結果に基づき、SL材の不具合の予測方法の枠組みを提示する。

なお、①～⑤の実験は、いずれも温度20℃、相対湿度50%の恒温恒湿実験室で行う。

5. 床下地試験体の作製

5.1. 試験体の概要

図1に、試験体の概要を示す。本試験体は、スラブ厚150mmで上端と下端に格子状配筋(D10@150mm、かぶり厚30mm)が施された、一般的な構造スラブの一部を模擬したものである。試験体の大きさは前報(その1)の結果を参考に600×800mmとし、このうち600×600mmの部分にSL材を施工することとした。また、残りの600×200mmの部分は、表層部品質の測定に供することとした。

なお、本報では、新規に作成する試験体のほかに、既往の研究³⁾で筆者らが作製し実験終了後8～10ヶ月間保管していた試験体も用いることとした。以降、前者を“新規試験体”、後者を“既存試験体”と記すこととする。

5.2. コンクリートおよび施工条件の概要

表1に、試験体に用いたコンクリートの材料(セメント、混和剤)、調合および作製時の施工条件などを示す。コンクリートは、実際の現場で床下地施工に用いられている様々なコンクリートの材料、調合、および上面仕上げ作業時の養生剤散布の有無などについて調査した結果⁴⁾などを参考に、強度、材料、流動性などが多様な試験体群となるよう留意して選定したものである。また、施工条件は、実

図1 試験体の概要

表1 コンクリートの材料、調合および作製時の施工条件と不具合の発生状況

試験体 No.	コンクリートの 種類	分類※1	呼び 強度	スラブ または スラブフロー (cm)	水結合 材比 (%)	細骨 材率 (%)	単位 水量 (kg/m ³)	養生剤 散布の 有無	施工 条件 ※3	不具合 の発生 状況 ※4
1	普通	N 普	18	SL=18	65	48	179	無	I	●
2									II	●
3									III	●
4									I	○
5	普通	N 普	18	SL=21	65	50	189	無	II	●
6									III	○
7									I	○
8									II	●
9	普通	N 普	21	SL=18	65	48	170	無	III	○
10									I	●
11									II	●
12									III	●
13	普通	N 普	27	SL=8	55	46	158	無	I	●
14									II	●
15									III	○
16									I	●
17	普通	N 普	27	SL=15	55	45	170	無	II	●
18									III	○
19									I	●
20									II	●
21	普通	N 普	27	SL=15	55	43	171	無	III	●
22									I	●
23									II	●
24									III	●
25	普通	N 普	27	SL=18	55	46	185	無	I	●
26									II	○
27									III	●
28									I	●
29	普通	N 普	27	SL=21	55	47	193	無	II	○
30									III	●
31									I	●
32									II	●
33	普通	N 普	31	SL=8	47	41	161	無	III	●
34									I	●
35									II	●
36									III	●
37	普通	N 普	31	SL=18	47	41	188	無	I	●
38									II	●
39									III	●
40									I	●
41	普通	N 普	31	SL=21	47	45	199	無	II	●
42									III	●
43									I	●
44									II	●
45	普通	N 普	35	SL=8	40	37	166	無	III	●
46									I	●
47									II	●
48									III	●
49	普通	N 普	35	SL=18	40	39	195	無	I	●
50									II	●
51									III	●
52									I	●
53	普通	N 普	35	SL=21	40	41	206	無	II	●
54									III	○
55									I	○
56									II	○
57	高強度 高流動	M 高	58	SLF=70	31	49	165	無	III	●
58									I	○
59									II	○
60									III	●
61	高強度 高流動	L 高	67	SLF=70	27	48	165	有※2	I	○
62									II	○
63									III	●
64									I	○
65	高強度 高流動	M 高	80	SLF=80	24	46	165	有※2	II	○
66									III	●
67									I	○
68									II	○
69	高強度 高流動	SF 超 高	108	SLF=60	19	43	155	有※2	III	○
70									I	○
71									II	○
72									III	○
73	普通	N 普	27	SL=8	55	46	158	無	IV	●
74									I	●
75									II	○
76									III	●
77	普通	N 普	27	SL=18	55	46	185	無	IV	●
78									I	●
79									II	●
80									III	●

※1:使用したセメント、混和材料の種類による分類

N:普通, M:中庸熟, L:低熟, SF:M+沙粉+M(質量の10%を置換),
普:AE減水剤, 高:高性能AE減水剤, 超高:超高性能AE減水剤 (いずれも標準形I種)※2:パラフィンワックス系養生剤(標準散布量150ml/m²)を下記の通り施工条件に応じて散布
施工条件I～Ⅲ:土間工「ならし」の際標準量散布し、さらに「ならし」終了後も標準量散布
施工条件IV:土間工「ならし」の際標準量散布

※3:上面仕上げ作業に使用できる道具および書やすことのできる作業時間などの条件

I:上面仕上げ作業担当者が「今まで見聞きあるいは体験した中で最も劣悪だった」という
条件(劣悪な条件)II:上面仕上げ作業担当者および施工管理担当者が「最近ではこの程度が一般的だ」という
条件(一般的な条件)III:上面仕上げ作業担当者が「これだけの条件が整えば表層部品質のよい床下地を施工する
のに十分だ」という条件(理想的な条件)IV:上面仕上げ作業のうち土間工のならしまでは施工条件IIと同様の条件で実施するが
仕上げは実施しない条件

※4:ひび割れ、剥離の発生状況に基づく分類(本文7.4.2参照)

○:【発生せず】、●:【剥離】、◎:【ひび割れ】

際の現場における床下地の施工条件(フレッシュコンクリートの投入速度、ポンプ1台あたりの作業人員数、作業員1人あたりの担当面積、作業手順、使用する道具など)の実状調査結果⁵⁾に基づいて設定したものである。各施工条件の意味は、表1に示す通りである。なお、各施工条件の具体的な内容については、既往の研究⁵⁾で述べている。

5.3. 試験体の作製

5.3.1 新規試験体

表1に示すNo.1～69の試験体は、2006年1月および6月に作製した。具体的には、所定の材料、調合で混練したコンクリートを型枠に打設し、所定の施工条件にしたがって上面仕上げを施して完成させた。上面仕上げ作業は、熟練した上面仕上げ作業担当者の指導のもと、日常は上面仕上げ作業に従事していない者が行った。特に、床下地の表層部品質に大きく影響するならし、仕上げ作業は、作業者の違いによる影響を排除する目的で、全て同一の者が行った。

試験体は、コンクリート打設後4週以上気中養生(施工条件Ⅲの場合)は打設直後の3日間湿潤養生のうえ気中養生した。

5.3.2 既存試験体

表1に示すNo.70～80の試験体は、既往の研究³⁾で筆者らが作製した試験体を用いた。これらの試験体は、フレッシュコンクリートの特性および床下地の施工条件と床下地の表面凹凸との関係を検討する目的で、材料、調合および施工条件を種々変化させて作製したものである。作製時の試験体の大きさは600×2700mmであるが、本報では、試験体の中央部を600×800mmに切断して用いた。

なお、既存試験体のなかには材料、調合および施工条件が他の試験体と同一のものもあるが、既存試験体では保管時の環境条件などを厳密に管理していなかったことから、材料、調合および施工条件が同一であっても表層部品質の観点からそれぞれ別個の試験体とみなせるものである。

6. 床下地の表層部品質の測定

6.1. 測定概要

測定する品質項目は、床下地上に仕上げ材を接着あるいは塗装する構法の床での不具合の原因として床施工に携わる多くの関係者から指摘されている⁶⁾、表面強度、表層部の水分量および表層部の密実性とした。また、前報(その1)の結果、表面凹凸が極端に大きくSL材の塗り厚が著しく薄い(厚い)部分や塗り厚の変化が著しく大きい部分がある床下地では、その部分にひび割れが発生することが明らかとなったことから、このような試験体がないことを確認する目的で、表面凹凸も測定することとした。

以下に、測定項目ごとに、具体的な測定方法の概要を述べる。

I 表面強度

(1) 引っかかり傷幅

日本床施工技術研究協議会^{注1)}が提案した「コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法、グレード⁶⁾」に、表面強度の測定方法として規定された方法。日本建築士学会式引っかかり試験器(1.0kgfの荷重が常にかかる先端角90°のタンガロイ鋼製尖りピンにより引っかかり傷を付ける装置)を用いて床下地表面に引っかかり傷を付け、その傷幅を測定する。傷幅が小さいほど、表面強度が大きいことを表す。

(2) 引張強度

建研式接着力試験器を用いる方法。40×40mmの鋼製アタッチメン

図2 せん断強度試験器の概要

図3 水位低下量の測定概要

トを床下地表面に接着したうえで、同試験器を用いて垂直方向に引っ張り、アタッチメントが床下地から剥離するまでの荷重の最大値を測定し、これを接着面の面積で除した値を引張強度として求める。

(3) せん断強度

筆者らが製作したせん断強度試験器²⁾を用いる方法。図2に、せん断強度試験器の概要を示す。この試験器は、鋼製アタッチメントを床下地表面に接着したうえで、ネジ棒を回転させることにより水平方向に加力し、その時の荷重を荷重変換器(圧子となる鋼棒に貼付したひずみゲージ)で測定するものである。この試験器を用い、20×20mmのアタッチメントが床下地から剥離するまでの荷重の最大値を測定し、これを接着面積で除した値をせん断強度として求める。

II 表層部の水分量

(1) 水分計指示値

Iの(1)で述べた「測定方法、グレード⁸⁾」に、水分量(表面から40mm程度まで)の測定方法として規定された方法。コンクリート、モルタル用高周波静電容量式水分計を用いる方法で、この水分計を床下地上に置き、表示値を読みとる。表示値は、大きいほど水分量が多いことを表す。ただし、この表示値は、真の含水率を直接表すものではない。

III 表層部の密実性

(1) 水位低下量

表層部の密実性は、表面強度に影響するほか、SL材施工前に塗布するプライマーの效果に影響する可能性があると思われ。すなわち、十分な密実性を有する床下地では、塗布したプライマーが表面にとどまり徐々に溶剤(水)が蒸発することにより塗膜が形成されるのに対し、密実でない床下地では、プライマーが床下地に吸収され表面に塗膜が形成されないものと予想される。よって、表層部の

密実性を吸水度合いを用いて把握することとし、以下に示す方法で水位低下量を測定することとした。

図3に、水位低下量の測定概要を示す。本測定は、透明アクリルパイプをシーリング材を用いて床下地表面に垂直に接着し、水を注入したうえで一定時間経過後の水位の低下量を測定するものである。なお、水位の測定時間やアクリルパイプの底面直径は、数十種の床下地を用いた予備実験の結果に基づいて設定した。具体的には、底面直径が31mmと54mmの2種のアクリルパイプを用い、注水後5～10分ごとに水位の低下量を測定した。その結果、水位低下量からみた試験体の序列は、注水後120分程度までは入れ替わりがあるが以降は比較的安定していること、および底面直径により大きくは変化しないことが明らかとなったことから、現在使用されているSL材の多くが施工後約3時間以上に乗って軽作業が可能な程度まで硬化すること、および底面直径が31mmの場合床下地の細かい凹凸の影響でアクリルパイプが正常に接着しにくい場合があったことなども勘案し、180分、54mmとした。

IV 表面凹凸

(1) 表面凹凸波形

筆者らが既往の研究⁷⁾で製作、使用した、水平に設置した直定規上でレーザ変位計をスライドさせる表面凹凸測定装置を用い、床下地表面に設定した測定線上の凹凸を2次元の波形として把握する。

6.2. 測定経過

表層部品質の測定は、SL材の施工3日前から前日にかけて実施した。引っかかり傷幅、引張強度、せん断強度、水分計指示値、水位低下量の測定は、試験体のうち表層部品質の測定に供することとした600×200mmの部分(図1参照)をさらに半分(300×200mm)に区切り、その

図中の回帰式のxは横軸、yは縦軸の値を表す

r: 相関係数 ** : 危険率1%以下で有意

図4 引っかかり傷幅と引張強度、せん断強度の関係

図5 引っかかり傷幅と水位低下量の関係

一方で実施した。なお、もう一方は、予備として保存しておくこととした。引っかかり傷幅の測定にはL社製引っかかり試験器、引張強度の測定にはY社製建研式接着力試験器LPT-1500、水分

計指示値の測定にはKT社製コンクリート、モルタル用高周波静電容量式水分計HI-520を用いた。測定回数は各測定項目とも3回以上とし、結果が安定していることを確認したうえで、平均を求めた。

一方、表面凹凸の測定では、図1に示すように試験体中央を中心に100mm間隔で5本の測定線を設定し、各測定線上の凹凸を測定した。測定には、KY社製レーザ変位計LK-500を用いた。

6.3. 測定結果および考察

図4に、引っかかり傷幅と引張強度、せん断強度の関係を示す。図には、前報(その2)で用いた試験体での測定結果もあわせてプロットしてある。また、図には、回帰曲線と回帰式、および相関係数も示した。図に示す通り、いずれの図でも両者はよい対応を示しており、相関係数も危険率1%以下で有意となっていることから、本報の結果を追加しても、前報(その2)までの結果と同様、3種の方法による測定結果には互いに高い相関があることがわかる。

図5に、引っかかり傷幅と水位低下量の関係を示す。図より、全体的にみると両者は比較的良好な対応を示しており、表層部の密実性は表面強度と密接に関係している⁸⁾ことが確認できる。しかし、詳細にみると、図中○で示した高強度コンクリート製床下地試験体による点の一部が、密実性が大きい割に表面強度が小さくなっていることがわかる。この理由として、セメントの種類や水セメント比、および単位水量、単位セメント量などの影響で、セメント水和物中の細孔構造や表層部に占めるセメント水和物の割合などに違いが生じていることなどが考えられるが、詳細な検討は今後の課題とする。

図6に、表面凹凸の測定結果の例を示す。図の(1)は比較的凹凸が小さい試験体で測定された波形の例、(2)は大きい試験体で測定された波形の例を示したものである。これらの波形から、試験体ごとに、最も高い位置と低い位置の差(最大高低差)を求めるとともに、波形を1mm間隔でサンプリングし、その標準偏差を求めた。表2に、全試

縦軸の表面凹凸は、本来のコンクリート上面(型枠底面から150mmの位置)を0としている

図6 表面凹凸波形の測定結果の例

表2 試験体の最大高低差、標準偏差およびSL材の塗り厚の最大値、最小値、標準偏差の範囲

	床下地表面凹凸		SL材の塗り厚		
	最大高低差 (mm)	標準偏差 (mm)	最大塗り厚 (mm)	最小塗り厚 (mm)	標準偏差 (mm)
本報の試験体の範囲	0.7~11.0	0.114~1.563	20.2~24.6	13.5~19.9	0.112~1.570
前報(その1) ¹⁾ で表面凹凸の影響でひび割れが発生した試験体	31.6	7.372	32.0	4.2	6.309
前報(その1) ¹⁾ で不具合の発生に表面凹凸の影響がみられなかった試験体の範囲	5.2~10.2	0.740~2.665	22.5~28.3	14.6~17.2	1.320~2.005

験体の最大高低差および標準偏差の範囲を示す。表に示す通り、最大高低差、標準偏差の範囲は、前報(その1)で表面凹凸の影響でひび割れが発生した試験体の最大高低差、標準偏差を大きく下回っており、かつ不具合の発生に表面凹凸の影響がみられなかった試験体の範囲と比較しても同程度以下であることから、本報で用いた試験体のなかにはひび割れの発生に影響するような表面凹凸が極端に大きいものはないことが確認できる。

7. SL材の施工および不具合の記録、測定

7.1. SL材の施工

6.で表層部品質を測定した試験体の600×600mmの部分(図1参照)に、SL材を施工した。ここで、使用するSL材やSL材の施工方法(塗り厚および施工手順など)は、前報(その2)と同一とした。表3に、SL材の概要を示す。SL材は、セメント系の一般的なもので、市販の袋詰め既調合粉体を購入し、実験室で水と混練後所定の流動性を確認したうえで施工した。SL材の塗り厚は、使用したSL材で推奨されている20mm(平均厚さ)とした。また、SL材施工前に床下地表面に塗布するプライマーは、SL材に指定されたものを標準量用いることとし、塗布回数は、SL材に規定された2回とした。

SL材の施工は、2005年6月、8月および2006年3月、7月に4回に分けて実施した。はじめに、プライマーを刷毛で塗布し乾燥させる作業を、SL材施工前日と当日の2回実施した。続いて、2回目のプライマー塗布から4~5時間以上経過後、SL材を施工した。SL材は、試験体の面積と平均厚さから算定される必要量を計量、混練し、床下地上に流し込んだうえで、金ごてを用いて流し延べる工法で施工した。作業は、熟練したSL材施工作業担当者の指導のもと、日常はSL材の施工作業に従事していない者が行った。特に、金ごてで流し延べる作業は、作業者の違いによる影響を排除する目的で、全て同一の者が行った。

なお、SL材の施工と同時に、「JIS A 1129-2 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法第2部：コンタクトゲージ方法」に準じた方法でSL材の収縮率を測定するための供試体(40×40×160mm)を3個づつ計12個作製し、試験体と同一の実験室内に存置した。

表3 SL材の概要

分類	フロー (cm)	強度* (N/mm ²)	収縮率* (%)	プライマー	
				主成分	標準塗布量 (g/m ²)
セメント系	22	25	0.08	アクリル酸エステル	1回目：200 2回目：100

※ 材齢28日(4週)での値

図7 SL材の収縮率の測定結果

7.2. SL材の塗り厚の測定

SL材の塗り厚を確認する目的で、硬化後に、6.1.で述べたと同様の方法で、図1に示した測定線と同一位置のSL材の表面凹凸波形を測定した。図6に、測定結果の例を示す。これらの波形と6.で測定した床下地の表面凹凸波形との差から、SL材の塗り厚の最大値(最大塗り厚)、最小値(最小塗り厚)を求めるとともに、波形を1mm間隔でサンプリングして各点での塗り厚を求め、その標準偏差を求めた。表2に、全試験体の最大塗り厚、最小塗り厚および標準偏差の範囲を示す。表より、6.3.で述べたと同様の理由から、本報で用いた試験体のなかにひび割れの発生に影響するような塗り厚が著しく薄い(厚い)部分や塗り厚の変化が著しく大きい部分があるものはないことが確認できる。

7.3. SL材の収縮率の測定

7.1.で作製した供試体を用い、SL材の収縮率を施工後1～2日間隔で測定した。図7に、測定結果を示す。図は、12個の供試体での測定結果の平均を示したものである。また、図には、同一のSL材を用いた前報(その2)での測定結果もあわせて示した。図より、収縮率は施工直後に急激に増加するがその後増加の度合いは低下し最終的に0.11%程度に収束すること、およびこの結果は前報(その2)の結果とほぼ一致していることがわかる。

7.4. SL材の不具合の記録、測定

7.4.1 記録、測定概要

7.1.で施工したSL材の不具合の発生状況を、施工後7日(1週)ごとに記録した。具体的には、透明フィルムをSL材上に敷きサインペンでひび割れを写し取るとともに、ひび割れごとに目盛付自在曲線定規を用いて長さを測定し、クラックスケールを用いて平均的な幅を測定した。対象とするひび割れは、肉眼でも容易に判断できる幅0.05mm以上のひび割れとした。また、打音棒でSL材上を打撃し、健全な部分とは明らかに音色が異なり剥離しているとみなせる部分を、上述のひび割れを記録した透明フィルム上に重ねて記録した。

記録、測定は、SL材施工12週後にひび割れおよび剥離の発生、成長がほぼ止まったとみなせたことから、終了した。

7.4.2 記録、測定結果および考察

図8に、SL材施工1週後、4週後、12週後のひび割れおよび剥離の発生状況の例を示す。図中のひび割れを示す線の太さは、前報(その1)で得られた知見に基づいて、ひび割れの幅に応じて0.2mm未満と0.2mm以上の2種に分類している。

図に例示するように、SL材のひび割れおよび剥離の発生状況は床下地により大きく異なっており、各試験体をひび割れ、剥離の発生状況に基づいて、以下の3種に分類することができる。

図8 SL材の不具合の発生状況の例

【発生せず】：ひび割れ、剥離が発生していない試験体。

【剥離】：SL材施工1週後程度で周囲から早期剥離が発生している試験体。これらの試験体では、ひび割れはほとんど発生しないか、発生してもその程度は比較的小さい。

【ひび割れ】：早期剥離は発生しないが、SL材施工4週後程度までにひび割れが発生している試験体。これらの試験体では、以降もSL材施工12週後程度まで発生したひび割れの幅が増加する。さらに、ひび割れに沿って剥離が発生する場合がある。剥離は、ひび割れの幅が大きい(0.2mm程度以上)箇所ほど発生しやすい。

各試験体を分類した結果を、表1に示す。なお、不具合が発生した試験体を発生状況から【剥離】と【ひび割れ】の2種に分類できる点は、前報(その1)の結果と一致している。また、【ひび割れ】に分類した試験体でのひび割れの発生時期やその後の幅の増加傾向などは、前報(その1)および(その2)の結果と一致している。

ここで、これらの不具合の発生状況の違いは、SL材と床下地の接着の程度の差に起因するものと予想される。すなわち、接着力が十分な場合はSL材の収縮が拘束されるため不具合が発生しないのに対し、接着力が若干不足する場合は、部分的にSL材の収縮を拘束できない箇所が存在しその箇所でひび割れが発生する。一方、より接着力が低い場合は上記のひび割れより先に剥離が発生するが、剥離発生後はSL材の収縮が拘束されないため、大きなひび割れは発生しないものと考えられる。

図9 表層部の水分量および密実性と不具合の発生状況の関係

図11 SL材の不具合の予測方法

図中の回帰式のxは横軸、yは縦軸の値を表す r : 相関係数 ** : 危険率1%以下で有意

図10 ひび割れ長さ×幅と引っかかり傷幅、引張強度、せん断強度の関係

8. 床下地の表層部品質とSL材の不具合の関係の検討

8.1. 表層部の水分量、密実性と不具合の関係の検討

図9に、表層部の水分量および密実性と不具合の発生状況の関係を示す。図は、各試験体の水分計指示値、水位低下量を、不具合の発生状況に応じて記号を変えてプロットしたものである。また、図には、SL材の種類、塗り厚などの条件が同一の前報(その2)の結果もあわせてプロットしてある。ここで、前報(その2)で用いた試験体の不具合の発生状況は、いずれも【ひび割れ】に分類される。

図より、水位低下量がある値を超えると、不具合の発生状況が【剥離】となる可能性が著しく高くなっていることがわかる。これは、6.1のⅢで述べた通り、密実でない床下地ではプライマーが床下地に吸収されることによるものと思われる。すなわち、このような床下地では本来プライマーの塗布量を多くする必要があるが、本報では塗布量を試験体の違いによらず一定としたため、密実性の小さい試験体でプライマーが不足し、表面に塗膜が適切に形成されなかったことが考えられる。なお、本報で用いたSL材の種類および塗り厚などの条件では、【剥離】とならないための水位低下量の上限は3.5mm程度とみなすことができる。

一方、図より、水位低下量が上記の値を下回っている場合は、水分計指示値に応じて不具合の発生状況が変化していることがわかる。すなわち、水分計指示値が小さい場合は【発生せず】となる可能性が高いが、大きくなるにしたがって徐々に【ひび割れ】となる可能性が高くなり、さらに大きくなると【剥離】となる可能性が高くなっていることがわかる。この理由として、床下地の水分量が大きいほ

ど、水分の影響でプライマーの塗膜が正常に形成されないため接着不良の度合いが大きくなり、施工直後に急激に増加するSL材の収縮を拘束できず、【ひび割れ】、【剥離】と段階的に不具合が発生したことが考えられる。なお、本報で用いたSL材の種類および塗り厚などの条件では、水分計指示値が3.2程度を超えると【ひび割れ】となる試験体が現れはじめ、4.2程度を超えると【剥離】となる試験体が現れはじめた。さらに、5.6程度を超えるといずれの試験体でも【剥離】となった。

8.2. 表面強度とひび割れの程度の関係の検討

7.4.2で【ひび割れ】に分類した試験体を対象に、ひび割れの程度と表面強度の関係を検討した。図10に、ひび割れ長さ×幅と引っかかり傷幅、引張強度、せん断強度の関係を示す。図には、前報(その2)で用いた試験体での測定結果もあわせてプロットしてある。また、図には、回帰曲線と回帰式、および相関係数も示した。

図に示す通り、いずれの図でも両者は比較的良好な対応を示しており、相関係数も危険率1%以下で有意となっていることから、本報の結果を追加しても、前報(その2)の結果と同様、SL材のひび割れの程度と床下地の表面強度には高い相関があり、表面強度が小さいほどひび割れの程度は大きくなることがわかる。この理由として、水分量の影響でSL材施工4週後程度までにひび割れが発生した試験体では、その箇所にSL材の収縮による応力が集中するが、床下地の表面強度が小さいほど集中する応力により表面が破壊されやすいため、収縮が拘束されずひび割れ幅が増大したことが考えられる。

9. SL材の不具合の予測方法の枠組みの提示

8.までの検討結果に基づき、SL材の不具合の予測方法の枠組みを、以下の通り提示する。

- ① 評価対象床下地で、表層部の水分量、密実性および表面強度を測定する。
- ② ①で測定した表層部の水分量および密実性から、不具合の発生状況が【発生せず】、【剥離】、【ひび割れ】のいずれになるかを予測する。
- ③ ②で【ひび割れ】と予測された場合は、①で測定した表面強度から、ひび割れの程度を予測する。

以上に述べた予測方法の流れを、図11に示す。

なお、①で測定する表面強度の測定方法は、本研究で採りあげた3種の方法のなかでは、測定の簡便さや測定痕の処理の容易さなどを考慮すると、引っかき試験器法が現段階では最も実用性が高いと考える。

10. おわりに

様々な種類のコンクリート製床下地の表層部品質とSL材に発生する不具合との関係を実験的に検討したうえで、前報(その2)の結果とあわせ、種々のコンクリート床下地に共通に適用できるSL材の不具合の予測方法の枠組みを提示した。本報の結論をまとめると、以下の通りである。

- (1) 様々な種類のコンクリートを用いて床下地試験体を作製し、表層部品質を測定した。その結果、3種の方法での表面強度の測定結果(日本建築士学会式引っかき試験器法、建研式接着力試験器法およびせん断強度試験器を用いる方法)には互いに高い相関があることが確認できた。また、表面強度と表層部の密実性との関係を検討した結果、高強度コンクリート製床下地のなかには、他のコンクリート製床下地と比較して密実性が大きい割に表面強度が小さいものがあることがわかった。
- (2) 床下地試験体にSL材を施工し、発生する不具合を記録、測定した。SL材の不具合の発生状況は床下地により大きく異なっており、【発生せず】、【剥離】、【ひび割れ】の3種に分類することができた。
- (3) 表層部の水分量および密実性と不具合の発生状況の関係を検討した。その結果、密実性がある程度以上小さいと、【剥離】となる可能性が著しく高くなることがわかった。また、密実性が十分な場合、水分量に応じて不具合の発生状況が変化し、水分量が小さい場合は【発生せず】となる可能性が高いが、大きくなるにしたがって徐々に【ひび割れ】となる可能性が高くなり、さらに大きくなると【剥離】となる可能性が高くなることがわかった。
- (4) 【ひび割れ】に分類した試験体を対象に、表面強度とひび割れの程度の関係を検討した。その結果、両者には高い相関があり、表面強度が小さいほどひび割れの程度は大きくなることがわかった。
- (5) (2)～(4)の検討結果をまとめ、SL材の不具合の予測方法の枠組みを提示した。

以上であるが、本報で示したSL材の不具合と床下地の表層部品質の関係における絶対値は、あくまでもSL材の種類および塗り厚などの条件を限定した実験で得られた一例である。今後は、これらの条件を多様にし、収縮率などに基づいて絶対値の変化の傾向を把握してゆく必要があると考える。また、実際の建築物でのSL材の不具合と床下地の表層部品質の関係などについて検討を重ね、より汎用性、一般性の高い予測方法の提示を試みる予定である。

謝辞

本研究のテーマ設定や方向付けなどにあたり種々御指導いただいた小野英哲先生(東北工業大学教授、東京工業大学名誉教授・工博)に、厚く御礼申し上げます。また、本研究に対し有益な御助言をいただくとともに実験に多大な御協力をいただきました筒井清光部会長、堤 豊前幹事、大野晴巳幹事をはじめとする日本建築士上材工業会SL材部会の皆様、および梶浦茂男第一部会長をはじめとする日本床施工技術研究協議会^{注1)}第一、二部会の皆様に、厚く御礼申し上げます。

注

注1) 日本床施工技術研究協議会(会長：小俣一夫)：床施工に関する技術を調査、研究することを目的に平成6年に設立された任意団体で、主たる床関係工業会が法人会員、床関係技術者、研究者が個人会員の、平成18年12月現在会員数約60の協議会

参考文献

- 1) 横山 裕、金 兜鎬、横井 健、崔 寿炅：SL材に発生するひび割れの観察および試験体の大きさの影響に関する検討、SL材のひび割れからみたコンクリート床下地の表層部品質の評価方法(その1)、日本建築学会構造系論文集、第605号、pp.9-16、2006.7
- 2) 横山 裕、金 兜鎬、横井 健、崔 寿炅：高強度コンクリートを対象とした床下地の表面強度とSL材のひび割れに関する基礎的検討、SL材のひび割れからみたコンクリート床下地の表層部品質の評価方法(その2)、日本建築学会構造系論文集、第610号、pp.13-20、2006.12
- 3) 横山 裕、横井 健：コンクリート床下地の凹凸に関する指標の具体例の提示、日本建築学会構造系論文集、第609号、pp.15-22、2006.11
- 4) 横山 裕、横井 健：高強度コンクリートの床上面仕上げ作業のしやすさおよび完成後の品質に関する基礎的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.1067-1068、2002.8
- 5) 横山 裕、横井 健：コンクリート床下地の表層部品質に関する指標のあり方、日本建築学会構造系論文集、第580号、pp.15-22、2004.6
- 6) 小野英哲、横山 裕、永橋 進、梶浦茂男、横井 健、湯浅 昇、端 直人、小俣一夫：コンクリート床下地表層部の諸品質の簡易測定、評価方法の提案、日本建築学会技術報告集、第18号、pp.11-16、2003.12
- 7) 横山 裕、西谷伸介：コンクリート床下地の施工労力と床の品質および保全労力に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第584号、pp.29-36、2004.10
- 8) 横山 裕、森 剛平、横井 健：コンクリート床の品質とフレッシュコンクリートの特性および施工条件の関係、その4 表面強度および水分量の観点からの検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.631-632、2003.9

(2006年12月10日原稿受理、2007年2月1日採用決定)