

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	張り床材の突き上げ防止からみたコンクリート床下地の水分量の管理方法
Title(English)	
著者(和文)	藤井佑太郎
Author(English)	Yutaro Fujii
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11489号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:横山 裕,坂田 弘安,鍵 直樹,堀田 久人,三上 貴正
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11489号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

張り床材の突き上げ防止からみた
コンクリート床下地の水分量の管理方法

東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系

藤井 佑太郎

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	2
1.2	研究の目的	3
1.3	既往の研究	4
1.4	研究の構成	5
第2章	張り床材の接着力と床下地表層部の水分量の関係の検討	7
2.1	本章の目的	8
2.2	実験の概要	9
2.2.1	試験体の作製	9
2.2.2	水分計指示値の測定	11
2.2.3	張り床材の施工	12
2.2.4	接着力の測定	13
2.3	実験の結果・考察	15
2.3.1	水分計指示値の経時変化	15
2.3.2	接着力と水分計指示値の関係	16
(1)	引張接着強さ	16
(2)	90度剥離接着強さ	19
2.4	本章の結論	21
第3章	張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係の検討	23
3.1	本章の目的	24
3.2	張り床材の不具合に関する実状調査および対象不具合の選定	25
3.2.1	ヒアリング調査	25
(1)	膨れ	25
(2)	めくれ, 剥がれ	25
(3)	突き上げ	25
(4)	縮み	25
3.2.2	実例調査	26
3.2.3	対象不具合の選定	29
3.3	突き上げ試験方法の設定	30
3.4	突き上げ試験の試行	32
3.4.1	実験の概要	32
(1)	試験体の作製	32
(2)	水分計指示値の測定	34
(3)	張り床材の施工および突き上げ試験の実施	35
3.4.2	実験の結果・考察	37

3.5	張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係の検討	38
3.5.1	実験の概要	38
(1)	試験体の作製	38
(2)	水分計指示値の測定	39
(3)	張り床材の施工および突き上げ試験の実施	40
3.5.2	実験の結果・考察	41
3.6	本章の結論	43
第4章	床下地の養生条件が張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係に およぼす影響の検討	44
4.1	本章の目的	45
4.2	実験の概要	46
4.2.1	試験体の作製	46
4.2.2	水分計指示値の測定	47
4.2.3	張り床材の施工および突き上げ試験の実施	48
4.3	実験の結果・考察	49
4.3.1	水分計指示値の経時変化	49
4.3.2	突き上げ発生確率と水分計指示値の関係	50
4.4	本章の結論	52
第5章	張り床材の突き上げと床下地の放出水分量の関係の検討	53
5.1	本章の目的	54
5.2	張り床材の突き上げと被接着床材熱膨張率の関係の検討	55
5.2.1	実験の概要	56
5.2.2	実験の結果・考察	58
5.3	張り床材の被接着床材熱膨張率と床下地の放出水分量および 水分計指示値の関係の検討	60
5.3.1	実験の概要	60
(1)	試験体の作製	60
(2)	放出水分量の測定方法	62
(3)	張り床材の施工および熱膨張試験の実施	66
5.3.2	実験の結果・考察	67
(1)	変色表値および水分計指示値の経時変化	67
(2)	変色表値と水分計指示値の関係	69
(3)	被接着床材熱膨張率と変色表値および水分計指示値の関係	70
5.4	本章の結論	72
第6章	床下地の上面仕上げ作業および養生が床下地の放出水分量に およぼす影響の検討	73
6.1	本章の目的	74

6.2	実験の概要	75
6.2.1	試験体の作製および養生	75
6.2.2	変色表値および水分計指示値の測定	78
6.2.3	張り床材の施工および熱膨張試験の実施	79
6.3	実験の結果・考察	80
6.3.1	仕上げ条件および養生条件が変色表値および水分計指示値におよぼす影響	80
(1)	仕上げ条件および養生条件が水分計指示値におよぼす影響	80
(2)	仕上げ条件および養生条件が変色表値におよぼす影響	83
(3)	仕上げ条件および養生条件が変色表値と水分計指示値の関係におよぼす影響	86
(4)	気中養生と冠水養生および湿布養生の比較	89
6.3.2	被接着床材熱膨張率と変色表値および水分計指示値の関係	94
6.4	本章の結論	96
	第7章 結論	97
	参考文献	100

第1章 序論

1. 序論

1.1 研究の背景

建築物の床には、様々な構法があるが、そのうち比較的採用例が多いものとして、コンクリート床下地（以降、“床下地”と記す）に仕上げ材を直接塗布、接着して仕上げる構法が挙げられる。これらの床では、コンクリート中の水分が仕上げ材の不具合の原因となる場合があることが、経験的に知られている。しかし、水分量と不具合の定量的関係は明らかとなっていない。このため、工期短縮を優先し、十分な乾燥期間を確保しないまま仕上げ材を施工した結果、不具合が発生する事例が頻発している。

コンクリートの水分量の把握方法としては、現在、高周波静電容量式水分計（以降“水分計”と記す）を用い、コンクリート表面に押し当てて指示値を読み取る方法が主流となっている。また、その他にも現場作業担当者の経験的な判別方法として、不透湿シートにより下地表面を覆い周囲をガムテープなどで封かんし翌日シート内面の結露水の有無を調べる方法や、不透湿シートと下地の間に新聞紙を挿入し翌日それが燃えるか否かを調べる方法などが、実施されている。しかし、これらの方法はいずれも不具合発生の原因となる水分の量を正しく測定できているか不明瞭な方法であり、これらの測定結果と不具合の関係を検討した研究事例も多くはなく、水分量の管理方法としての適用性は明らかになっていない。

一方、仕上げ材のなかでも高分子系張り床材（以降、“張り床材”と記す）は、住居、学校、病院など様々な建築物で使用されているため、施工事例が多く、それにともない不具合の発生件数も多い。さらには、一般的に剛性が小さくかつ熱膨張率が大きい製品が多いため、剥離や膨れ、突き上げ、縮みといった目立つ不具合が発生しやすい。不具合の中でも、膨れや突き上げといった現象は、床材の熱膨張や膨潤などが原因で張り床材が形状を変化させてしまうものであり、特に突き上げは、張り床材施工後比較的早く顕在化する不具合であり、早急な対処が必要な不具合の一つである。

1.2 研究の目的

本研究は、張り床材の突き上げ防止からみた、床下地の水分量の管理方法を確立することを目的としている。

床下地の水分量の管理方法の詳細は、コンクリートの種類により異なることが予想されるが、本研究は基礎的段階であり、管理方法の骨子を確立することを目的としていることから、対象とするコンクリートは1種とし、種々のコンクリートを用いての検討は本研究以降の課題とする。

また、本研究で対象とする張り床材および接着剤は、研究当初は比較的多くの種類を対象とし、検討を踏まえて徐々に対象範囲を限定することとした。また、現在、JIS A 1454に規定される張り床材は、塩ビ系，リノリウム系，ゴム系，オレフィン系に分類されるが、現在普及している床材の9割以上は塩ビ系であることから、本研究でも塩ビ系の張り床材を対象に検討を行った。

さらに、張り床の不具合には、水分量以外にも床下地の表面強度や吸水性なども少なからず影響ことが予想される。また、水分量と表面強度や吸水性とには、なんらかの関係があることも予想される。しかし、本研究は、水分量の管理方法を確立する第一段階であることから、水分量と不具合の関係を直接検討することとし、水分量と表面強度や吸水性の関係をふまえた考察は、今後の課題とする。

また、本研究では、床材の熱膨張を接着剤の接着力で拘束できないことにより発生する突き上げを対象としており、その後の温度変化による繰り返し疲労の影響やその他の物理的な外力の作用による複合劣化については今後の課題とする。

1.3 既往の研究

コンクリートの水分量の測定方法に関しては、湯浅ら¹⁾が測定に関する種々の方法を体系的に整理している。その中でも、現在現場で普及している測定方法として、押し当て式の水分計を用いるものがある。この水分計は、コンクリート表面に電極を押し当てて測定される静電容量に基づいて、下地表層部に含まれる水分の量を水分計指示値として概略推定するものである。また、その電極間距離から、表層部から40mmまでの水分の量を推定するものであることも湯浅らが実験的に明らかにしている²⁾。しかし、この押し当て式の水分計による測定は、あくまでも推定値であり、コンクリート表層部における水分量の深さ方向の不均一性を捉えていない³⁾、⁴⁾など、不具合に影響をあたえる水分量を測定しているかは不明瞭なものである。

一方、別の水分の測定方法として湯浅ら⁵⁾は、湿気に反応して色が変化する乾燥度試験紙を透明な不透湿性テープを用いてコンクリート表面に貼付し、コンクリート表面からの水分蒸発速度を測定する方法も提案している。また、日本床施工技術研究協議会では、湯浅、笠井らの研究成果を参考に、「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」にて、乾燥度試験紙を用いた水分量の測定方法(以降“乾燥度試験紙法”と記す)を規定している⁶⁾、⁷⁾。本研究でも、上記2種の測定方法を用いて、水分量を把握することとした。同会のグレードは、現場作業担当者を対象に実施したヒアリング調査で得られた知見を基に、その経験則に基づいて設定されたグレードである。

水分計指示値と実際の不具合との関係を検討した例は多くはなく、横山ら⁸⁾、⁹⁾が行った研究が代表的である。横山らは、キャストの床材への載荷状況および動きを再現する装置を試作したうえ⁸⁾で、床下地の水分量と張り床材の膨れの関係を示し、引きずり膨れ防止の観点からの管理指標を示した⁹⁾。検討の結果、引きずり膨れが発生する水分計指示値の閾値は指示値5.0近傍であり、現場で不具合の閾値とされている数値と一致する結果が得られている。これらの結果は、本研究でも非常に参考としており、管理指標提示のための足がかりとなる結果である。

1.4 研究の構成

本研究の構成は、以下の通りである。

- 1) 2章において、JISに規定された物性試験方法を用いて、張り床材の接着力試験を実施し、それにより測定される接着力と床下地の水分量の関係を検討した。
- 2) 3章において、張り床材の不具合に関する実状調査を行い、対象とする不具合として突き上げを選定した。さらに、突き上げに関する性能試験方法を確立し、張り床材の突き上げと床下地の水分量の関係を検討した。
- 3) 4章において、2章と3章の結果をふまえ、養生条件の異なる床下地を対象に、突き上げに関する性能試験を実施し、養生条件が張り床材の突き上げと床下地の水分量の関係におよぼす影響を検討した。
- 4) 5章において、4章の結果から不具合に影響するのは、下地から放出される水分であると考え、放出水分量の測定方法を設定するとともに、張り床材の突き上げとの関係を検討した。
- 5) 6章において、5章の結果、水分量の管理は放出水分量によるのが適切であることが明らかとなったことから、コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業とその後の養生が放出水分量におよぼす影響を体系的に検討した。

以上であるが、本研究における検討は、全体を通して以下の手順で行う

- a) コンクリート床下地を模擬した試験体を作製する
- b) a)で作製した試験体の水分量を適宜測定し、その経時変化を把握する
- c) 試験体の水分量が所定の値となった段階で張り床材を貼付し、物性試験もしくは性能試験を実施する
- d) b)で得られた水分量とc)で得られた試験結果の関係を検討し、水分量の管理方法を提示するための知見を集積する

図1.1に、本研究のフローチャートを示す。

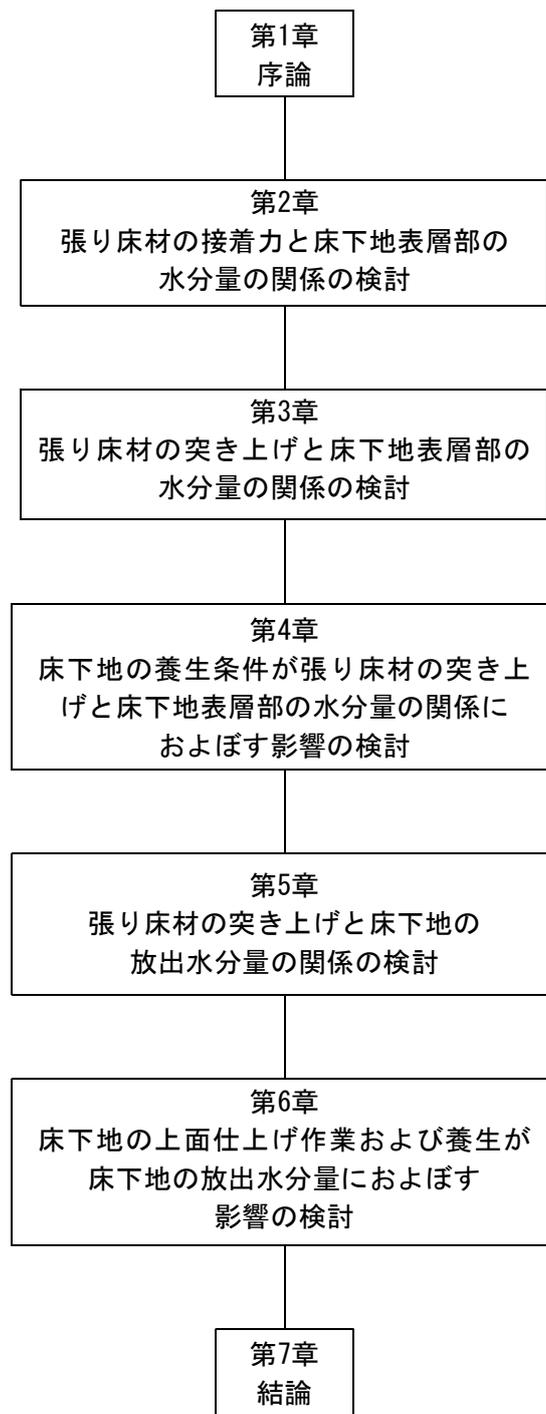


図1.1 本研究のフローチャート

第2章

張り床材の接着力と床下地表層部の水分量の関係の検討

第2章 張り床材の接着力と床下地表層部の水分量の関係の検討

2.1 本章の目的

本章は、張り床材を対象に、床下地と張り床材の接着力と床下地表層部の水分量の関係を定量的に検討し、基礎的知見を得ることを目的とする。具体的には、数体のコンクリート床下地模擬試験体を作製し、乾燥期間を変えることで数段階の水分量の試験体を準備した。それらの試験体に張り床材を貼付した後、「JIS A 5536 床仕上げ材用接着剤」に規定された手法を用いて『引張接着強さ』と『90度剥離接着強さ』を測定して、得られた接着力と床下地の水分量の関係を検討、把握した。

2.2 実験の概要

2.2.1 試験体の作製

図2.1に、試験体の概要を示す。大きさは、張り床材の接着力試験に支障がないこと、用いる接着剤の種類分すべて施工できること、施工時に行うむら直しや押えなどの作業に支障がないことなどに留意し、900×900mmとした。また、厚さは、床下地で一般的な150mmとした。試験体ごとに乾燥期間を変えることで水分量を5段階(2.2.3参照)変化させる目的で、同一のものを5体作製することとした。また、デッキプレート型枠のように、透気性が極めて小さく、かつコンクリート硬化後も脱型されない場合は、水分が長期間保持されると考えられる。このことから、在来工法で一般的な合板製型枠を模擬した“普通型枠”のほか、接合部をシーリング材でふさぎ底面に塩ビ板を貼付した“デッキ模擬型枠”を用いることとした。

試験体に用いるコンクリートは、表2.1に示すとおり、現場で床下地にごく一般的に用いられる、普通27-18-20Nとした。

試験体施工時の各作業の概要(用いる道具、費やす時間など)を、表2.2に示す。ここで、土間工のならし作業は、水分量への影響が小さいことから、接着力測定を円滑に実施するため表面を平滑にすることを一義に設定した。一方、仕上げ作業は、水分量への影響が大きいことから、現場で一般的なむら直し1回、押え2回¹²⁾とし、時間も実状に即して規定した。また、養生は、気中養生とした。

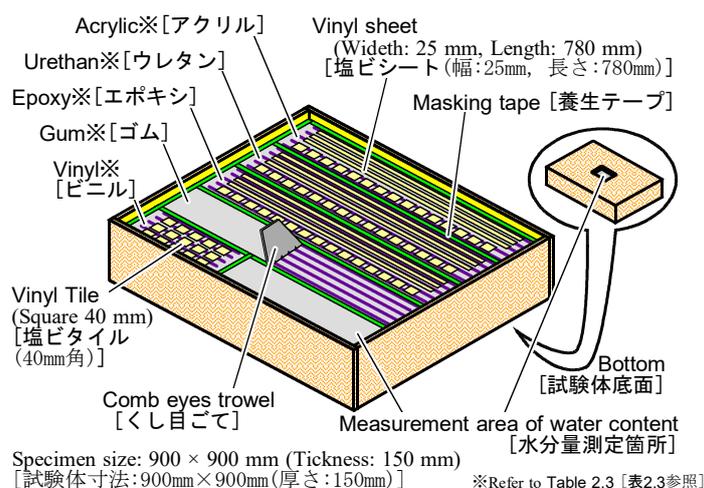


図2.1 試験体の概要

表2.1 コンクリートの概要

Binder type [セメント]	Target slump [スランプの呼び値] (cm)	Traget compressive strength [呼び強度]	Water -to-binder ratio [水セメント比] (%)	Fine aggregate ratio [細骨材率] (%)	Water quantity [単位水量] (kg/m ³)
N*	18	27	51.5	45.1	184

※N: Ordinary portland cement [普通ポルトランドセメント]

表2.2 施工条件の概要

Items [項目]	Details [内容]*
Concrete pour [生コン投入]	Pour uniformly by the whole of the form [型枠の全体に均一に投入]
DOKOU Spreading [土工 荒ならし]	Scoop, Hoe [スコップ, ジョレン] No time limit [時間設定せず]
DOKOU Compaction [土工 締固め]	Concrete vibrator [バイブレータ] 29 s (36 s/m ²)
DOMAKOU Screeding [ならし] DOMAKOU Leveling [土間工ならし] Ruler leveling [レベル調整] [定規ずり]	The specially made ruler that can slide on the form as a rail [型枠をレールとしてスライドさせることができる特制定規] No time limit [時間設定せず]
DOMAKOU Finishing work [土間工仕上げ]	Smoothing [むら直し] Wood trowel [木ごて] 29 s (36 s/m ²)×Once [1回]
	Troweling [押え] Steel trowel [金ごて] 19 s (23 s/m ²)×Twice [2回]
Curing method till covering construction [床材施工までの養生]	Nothing, drying in air naturally [気中養生]

2.2.2 水分量の測定

水分量の測定は、日本床施工技術研究協議会が規定する、高周波静電容量式水分計（ケット科学社製HI-520、**写真2.1**参照）を用いて指示値を得る方法⁷⁾とした。指示値は、表層部から40mm程度の範囲の水分に応じて変化し、大きいほど水分量が多いことを示す。なお、同会が設定した『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』では、指示値に応じてⅠ（CONモード指示値4.0未満）、Ⅱa（4.0～5.0）、Ⅱb（5.0～6.0）、Ⅲ（6.0～8.0）、Ⅳ（8.0以上）の5段階のグレードを設けている。

測定は、表層部に加え底面でも実施することとし、型枠底面には、水分計を接触させるため測定時に取り外せる窓を設けた。



写真2.1 高周波静電容量式水分計

2.2.3 高分子系張り床材の施工

2.2.2で述べた水分計指示値のグレードに応じて、張り床材を施工することとした。具体的には、水分計指示値が9.0, 7.0, 5.5, 4.5, 3.5となったタイミングで施工することとした。

張り床材は、塩化ビニル複層タイルおよびシートの代表的なもの1種ずつを、2.2.4に後述する接着力の測定に供する大きさにあらかじめ切断して貼付することとした。また、接着剤は、現場で使用例の多い製品から、表2.3に示す5系の代表的なもの1種ずつを選定した。これらの接着剤は、接着剤中の水分が蒸発するものや、含まれる成分が化学反応するものなど、硬化のメカニズムが種々異なるものであり、接着剤ごとに水分の影響も異なることが予想された。

表2.3 接着剤の種類と接着強さの測定項目

Abbreviation [略称]	Type [種類]	Measurement item ^{※1} [測定項目]	Prescribed cure time from covering construction [床材施工からの規定養生期間] (JIS A 5536)	Measurement result of bond strength ^{※2} [接着力の測定結果]	
				Tensile strength [引張接着強さ] (N/mm ²)	90 degree peel strength [90度剥離接着強さ] (N)
Acrylic [アクリル]	Acrylic resin emulsion [アクリル樹脂系エマルジョン形]	Tensile strength, [引張接着強さ] 90 degree peel strength [90度剥離接着強さ]	7 days [7日]	0.47	16.5
Urethan [ウレタン]	Urethan resin [ウレタン樹脂系]	Tensile strength, [引張接着強さ] 90 degree peel strength [90度剥離接着強さ]	2 days [2日]	0.63	20.7
Epoxy [エポキシ]	Epoxy resin [エポキシ樹脂系]	Tensile strength, [引張接着強さ] 90 degree peel strength [90度剥離接着強さ]	2 days [2日]	0.75	36.7
Vinyl [ビニル]	Vinyl copolymer resin solvent [ビニル共重合樹脂系溶剤形]	Tensile strength [引張接着強さ]	2 days [2日]	0.56	—
Gum [ゴム]	Gum latex [ゴム系ラテックス形]	90 degree peel strength [90度剥離接着強さ]	7 days [7日]	—	22.6

※1 Refer to Table 2.4 [表2.4参照]

※2 Results of measurement 28 days after floor covering construction by specimens of wooden form of moisture meter reading 3.5

[水分計指示値3.5の普通型枠の試験体での床材施工から28日後に測定した結果(本文2.3.2参照)]

2.2.4 接着力の測定

JIS A 5536に準じ、引張接着強さおよび90度剥離接着強さを測定することとした。**表2.4**に、概要を示す。引張接着強さは、**写真2.2**に示す建研式接着力試験器を用いて、剥離時の最大荷重を測定することとした。一方、90度剥離接着強さは、JISでは、張り床材を厚さ5~8mmのフレキシブル板に接着のうえ、2本のローラをまたぐように上下反転させて設置し、ローラ間から床材端部をつかんで鉛直に引き下げることで、角度を制御している。しかし、本報では床下地を模擬した試験体を用いること、将来的には実際の現場で測定を実施する可能性があることから、**図2.2**に示す装置を自作のうゑで測定を行った。本装置では、厳密には角度が剥離の進行とともに変化するが、十分な長さのワイヤ(約2m)を用いているため、角度変化の影響は小さいと考えられる。また、ジャッキを手動操作することやワイヤの振動の影響も、荷重-時間曲線には多少認められる。しかし、予備実験を繰り返した結果、接着剤を引き剥がす荷重と比較して十分に小さく、荷重が安定している部分の平均値を算出することにより影響を無視できると見なした。

いずれの接着強さの測定も、**表2.3**に示した接着剤の種類ごとのJISに規定された養生期間経過後に加え、床材施工から28日養生後に実施した。

表2.4 接着力の測定方法の概要

Measurement item [測定項目]	Measuring method [測定方法]
Tensile strength [引張接着強さ]	The floor covering which size is 40 × 40 mm is pulled entire surface vertically by Tensile tester by Building Research Institute. The maximum load was measured. Reference to Photo 2.2. [40×40mmに切断した張り床材を、建研式接着力試験器を用いて全面一斉に垂直方向に引張り、剥離時の単位面積あたりの荷重の最大値を測定。写真2.2参照]
90 degree peel strength [90度剥離接着強さ]	The zonal floor covering cut into a width of 25 mm was peeled vertically by 90 degree peel tester. The average load when peeling speed of 200 mm/min and length of 150 mm was measured. Reference to Photo 2.3 and Fig. 2.2. [幅25mmの帯状に切断した張り床材の端部を治具でつかみ、めくり上げるように垂直方向に約200mm/分で引張り、長さ150mm剥離する間の平均荷重を測定。写真2.3および図2.2参照]



写真2.2 建研式引張接着力試験器

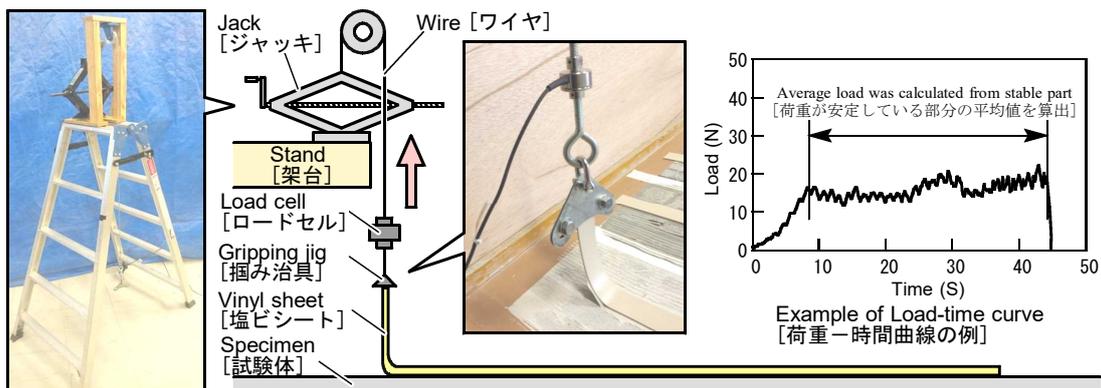


図2.2 90度剥離接着強さの測定方法の概要

2.3 実験の結果・考察

2.3.1 水分計指示値の経時変化

図2.3に、水分計指示値の経時変化を示す。図は、それぞれ5体の試験体の平均値である。また、縦軸の「Over range」は、水分計の測定範囲を逸脱した量の水分が含まれていることを表す。図より、普通型枠の表層部の水分量は、初期に急速に乾燥が進んだが、4日経過後からは乾燥速度が小さくなり、その後水分が漸減していることがうかがえる。デッキ模擬型枠も同様であるが、初期の乾燥速度は普通型枠より若干小さく、乾燥速度の変化がみられたのも10日程度であった。なお、両者の値の差は、打設後28日程度で0.3以下となった。

一方、底面の水分量は、初期は長らく水分過多により測定範囲を逸脱していたが、打設後28日程度経過すると指示値12以下まで低下した。特に、普通型枠は、打設後28日で底面を脱型し気中養生としたので、以降の乾燥速度はデッキ模擬型枠に比べ大きくなっている。

なお、表層部と比較して底面の乾燥速度が小さいのは、型枠でドライアウトが防がれ水和が十分に進行しており細孔構造が緻密になったことに加え、重力によりコンクリート内部の水分が底面近くに移動したためと考えられる。また、表層部と底面の水分計指示値の差は、コンクリート内部の水分分布の不均一を意味するが、普通型枠と比較してデッキ模擬型枠では内部に多くの水分が残留していることが、明確にうかがえる。

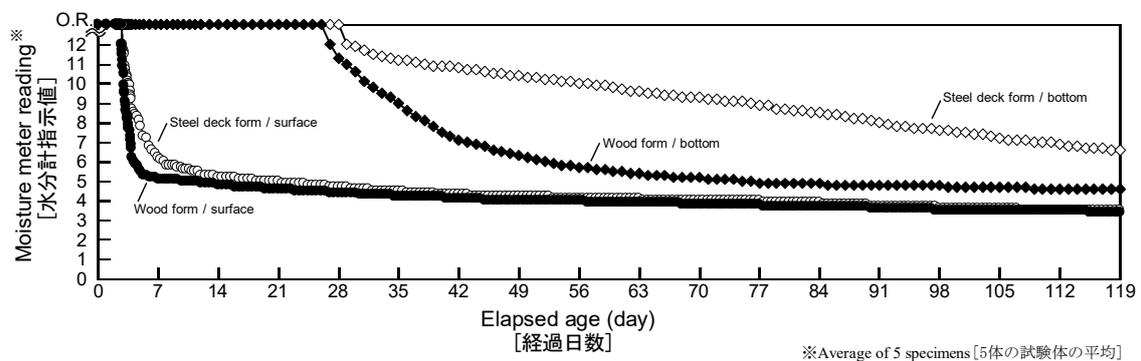


図2.3 床下地の表層部と底面の水分量の経時変化

2.3.2 接着力と水分計指示値の関係

(1) 引張接着強さ

図2.4に、引張接着強さと水分計指示値の関係を、接着剤ごとに示す。左列は、JIS規定の養生期間後に測定した接着強さを、右列は28日養生後に測定した接着強さを表す。なお、接着強さは、水分計指示値3.5(グレードI)の普通型枠の試験体を用いて床材施工から28日養生後に測定した結果を1とした場合の比で示している。

図より、エポキシのJIS規定養生期間では、水分計指示値の大きい試験体で接着強さが低下する様子がうかがえるが、そのほかはいずれの接着剤と養生期間でも、接着強さと水分計指示値に明確な関係はみられない。

ここで、接着のメカニズムは、分子間力に起因する吸着とアンカー効果とに大別される¹⁰⁾。このとき、床下地の水分は、接着剤と床下地の界面に介在することにより分子間力に起因する吸着に大きく影響し、一方アンカー効果には大きくは影響しないと想定できる。引張接着強さでは、全面を一斉に引張ることからアンカー効果が十分に発揮され、結果として水分の影響があまりみられなかったものと推察される。

ただし、エポキシは、硬化剤の主成分をアミンとする2液式のもので一般的であるが、主剤はアミン以外に水をはじめとする様々な分子と反応する¹¹⁾。このため、硬化後は水と不活性であり一般的に『水に強い』とされているが、硬化中に湿気を受けると所期の反応ができない。すなわち、水分量の多い床下地では、JIS規定の養生期間内に十分硬化できず、アンカーとして作用する部分の接着剤自体の強度不足となったものと思われる。図2.5に、異なる床材施工後の養生期間での接着強さの関係を、エポキシを例に示す。図より、28日養生後に比べて、JIS規定養生期間後の接着強さが小さくなっており、特に水分計指示値9.0(グレードIV)は著しく小さいことがわかる。一方、水溶性のアクリルでも、床下地の水分により硬化遅延や再乳化などが起こると想像されるが、JIS規定の養生期間内に十分硬化できたものと考えられる。

なお、いずれの結果でも、同じ指示値では普通型枠よりデッキ模擬型枠の接着強さが小さくなる傾向がうかがえた。これは、コンクリート内部に残留している水分の影響と考えられる。

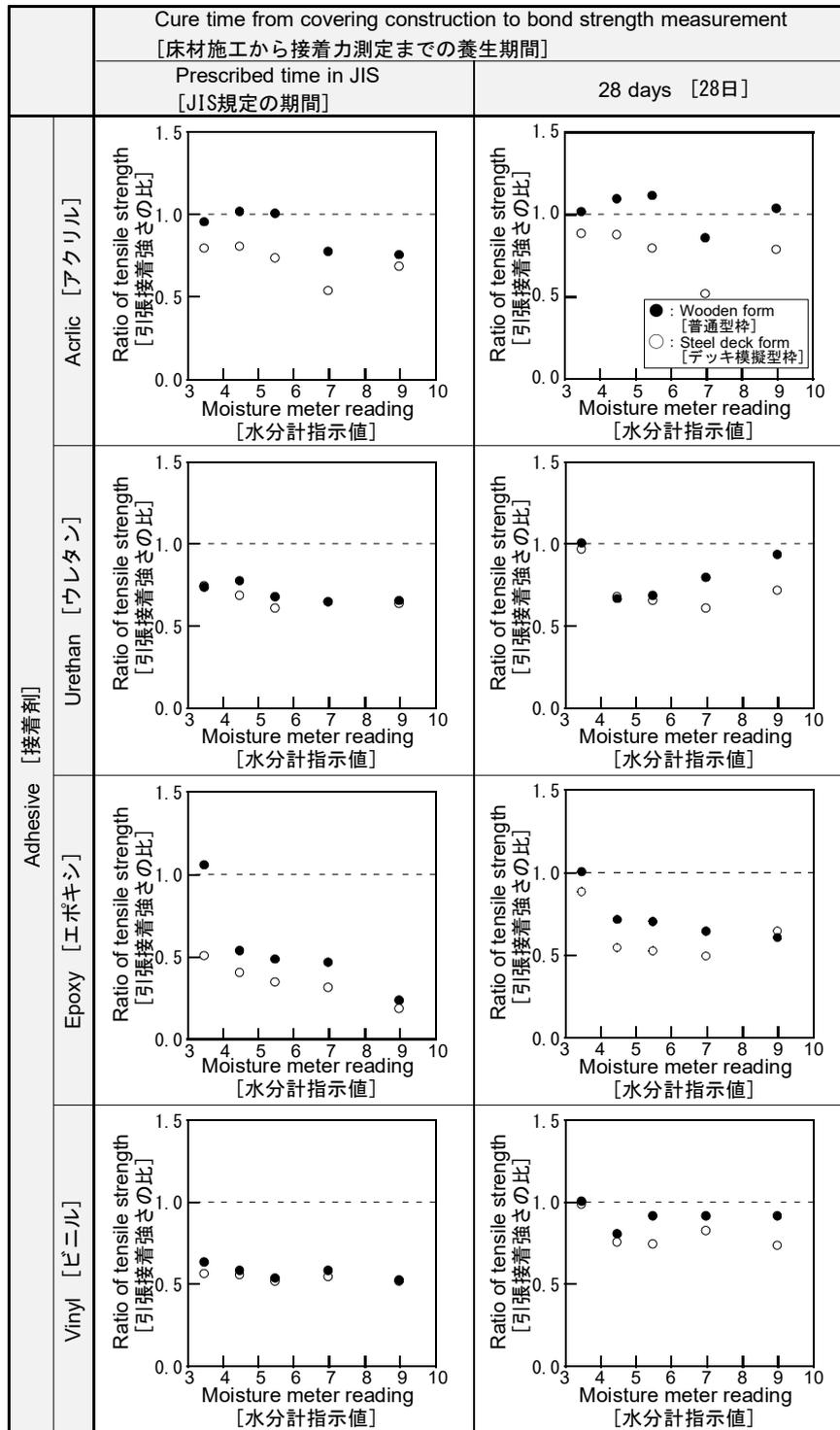


図2.4 引張接着強さと水分計指示値の関係

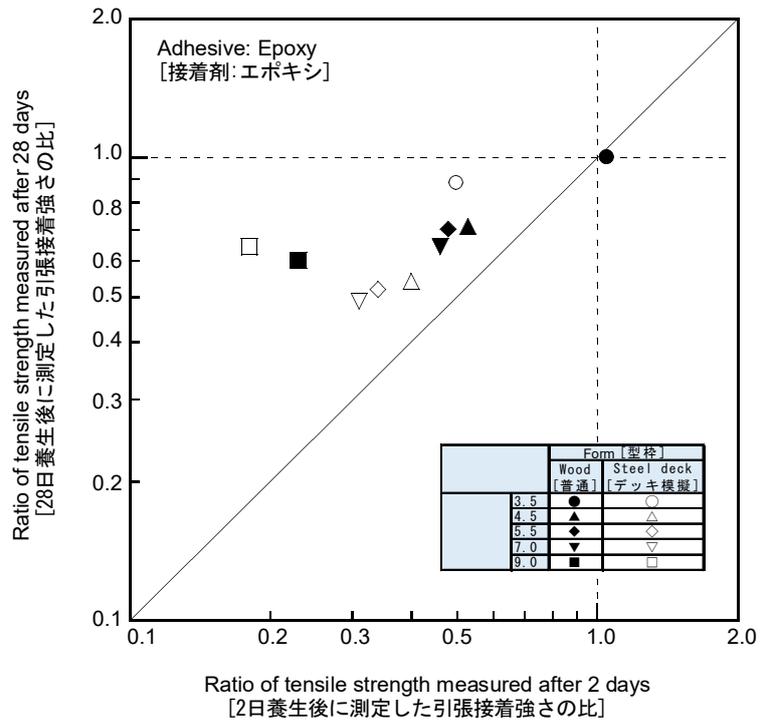


図2.5 異なる床材施工後の養生期間での引張接着強さの関係の例

(2) 90度剥離接着強さ

図2.6に、90度剥離接着強さと水分計指示値の関係を示す。図の構成は、図2.4と同様である。

図より、いずれの接着剤と養生期間でも、水分計指示値の大きい試験体では接着強さが低下する関係がみられる。この原因としては、端部をめくり上げるように少しずつ剥離させていく場合、アンカー効果の影響を小さく抑えることができ、分子間力に起因する吸着に水分が直接影響したものと推察される。また、下地の水分が界面の接着剤の硬化不良を引き起こし強度不足になったことも、相乗的に作用していると考えられる。

なお、引張接着強さの結果と同様、同じ水分計指示値では普通型枠よりデッキ模擬型枠の接着強さが小さくなる傾向がうかがえた。

また、ゴムは、乾燥が進んでいる水分計指示値3.5(グレードI)の試験体よりも、水分の多い試験体の方が、接着強さ大きくなる場合が多かった。通常ゴムは、接着強さの測定時に接着剤が数十mmまで弾性的に伸び強く粘着する様子がみられるが、指示値3.5の試験体では粘着せず数mm伸びたところで脆くちぎれた。この原因として、床下地の水分が著しく少ない試験体ではラテックス中の水分が床下地に吸収されて貼り合わせ可能時間が極端に短くなり、規定のオープンタイムを守った結果所定の粘着力が発揮できなかったことなどが考えられる。この結果は、床下地の水分量は少ないほど良いとは限らず、用いる接着剤によっては最適範囲が存在する可能性があることを、示唆するものである。

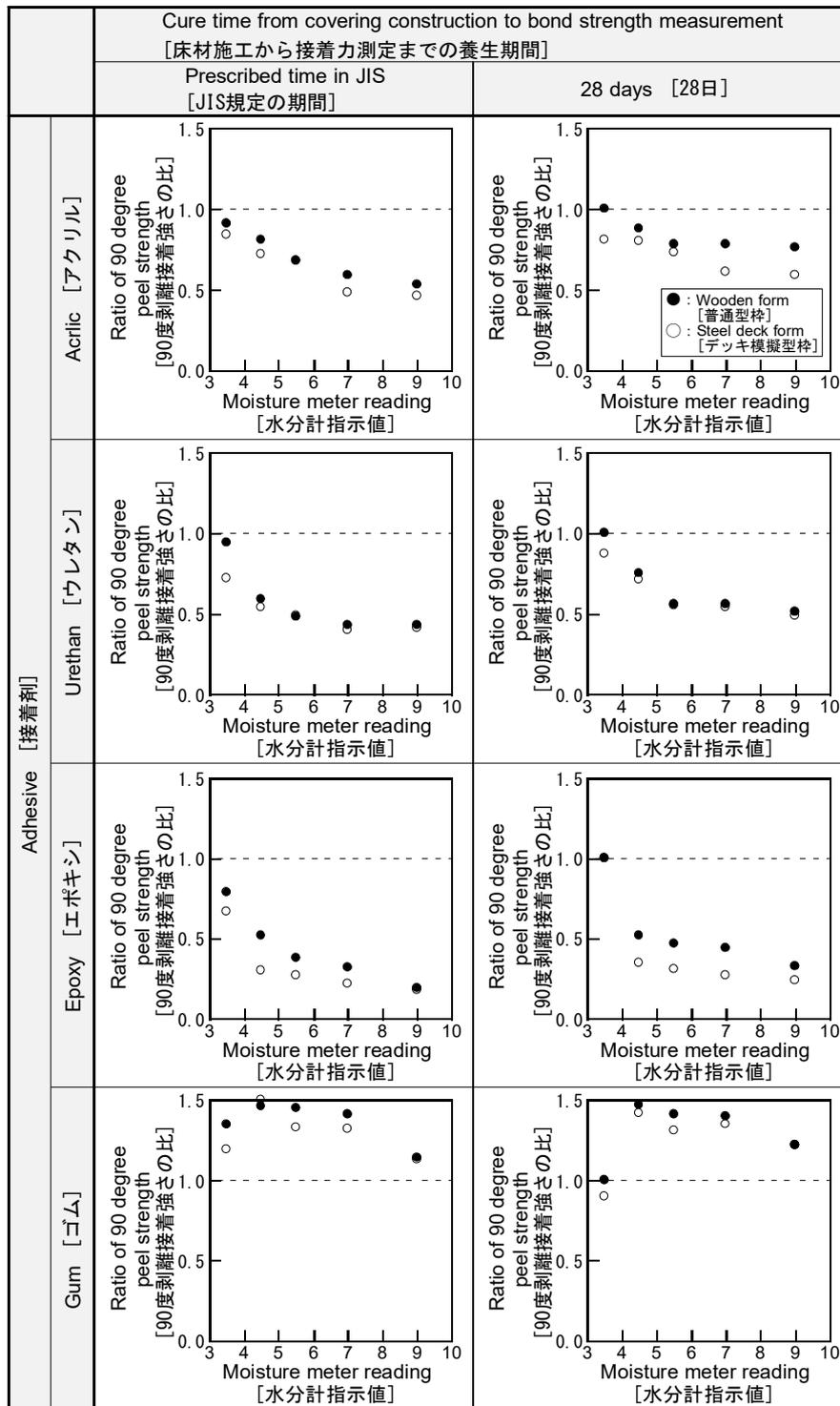


図2.6 90度剥離接着強さと水分計指示値の関係

2.4 本章の結論

本章では、床下地を模擬した試験体を乾燥させつつ、所定の水分計指示値となった段階で張り床材を施工し、接着強さを測定した。本章の結論は以下のとおりである。

- ① 床下地の水分計指示値は、打設後7日前後までは急激に低下するが、その後はゆっくり減少する。また、同一のコンクリートであっても、型枠の透気性などが原因で、乾燥にともなう水分計指示値の変化には差が生じる。表層部と底面でも水分計指示値は大きく異なり、内部の水分分布は不均一となっている。
- ② 表層部の水分計指示値が同程度でも、コンクリート内部の水分量が多い試験体では、少ない試験体と比較して接着強さが小さくなる。
- ③ 張り床材の全面を一斉に引張る引張接着強さ試験と、張り床材端部をめくるように引張る90度剥離接着強さ試験では、荷重の作用の仕方の違いから、接着強さの評価が大きく異なった。
- ④ エポキシ樹脂系接着剤で床材施工後の養生期間が2日の場合、引張接着強さは、水分計指示値が大きくなるほど小さくなるが、他の接着剤、養生期間では、引張接着強さと水分計指示値の間に明確な関係はみられない。引張接着強さ試験では、全面を一斉に引張ることからアンカー効果が十分に発揮され、結果として水分の影響があまりみられなかったものと推察される。
- ⑤ 多くの接着剤で、水分計指示値が大きくなるほど接着力が低下する傾向が、明確にみられた。すなわち、剥離を防止するためには、床下地の乾燥期間を長く取るのが非常に有効であるといえる。ただし、ゴム系接着剤では、非常に乾燥している試験体でかえって接着力が低下する。

以上であるが、②は、本章で用いた水分計指示値を張り床材施工直前に測定するだけでは、水分管理指標として不十分である可能性を示唆するものである。

また、③は、実状に即した接着強さの評価方法を設定するためには、実際の剥離発生時に張り床材にかかる荷重を導出する必要性を示唆するものだが、JIS等に規定される物性試験結果も含め、現状では解析に必要な物性値は整備されておらず、解析的な検討は多くの困難を伴うことが予想される。一方で、不具合発生時に床に作用する

荷重を実験的に再現する性能試験手法を開発する方法も有効な方法の1つと考えられる。よって本章以降は、実際の現場で発生する不具合を再現する性能試験手法の開発を行い、考察を深めることとした。

第3章

張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係の検討

第3章 張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係の検討

3.1 本章の目的

前章(2章)では、JISに準じた2種の物性試験により、床下地の水分量と床材の接着力の関係の一端を示した。しかし、荷重の作用の仕方の違いから2種の試験間で接着強さの評価が大きく異なったため、本章以降は、接着力の評価方法を変えて考察を深めることとした。具体的には、実際の現場で発生する不具合を再現する性能試験方法を開発することとした。

本章では、3.2で述べる床材の不具合に関する実状調査の結果に基づき、性能試験で再現する不具合として、床材の伸長により継ぎ目の突き合わせ部で発生する“突き上げ”を選定した。そして、突き上げが発生しやすい状況を擬似的に再現して発生の有無を確認する“突き上げ試験”の方法を設定するとともに、突き上げと床下地の水分量の関係を考察した。

3.2 張り床材の不具合に関する実状調査および対象不具合の選定

3.2.1 ヒアリング調査

床材開発メーカーの技術者4名を対象に、ヒアリング調査を実施した。その結果、床下地と床材の接着力不足による剥離は、“膨れ”，“めくれ，剥がれ”，“突き上げ”，“縮み”の4種の不具合として顕在化することがわかった。以下に、各不具合の荷重作用方式の概要をまとめる。

(1) 膨れ

部分的に剥離している場合、床材が伸長すると、膨れが発生する。代表的な伸長要因としては、床材と床下地の間の密閉空間の水分蒸発で発生する圧力による変形、重歩行や什器の引きずりなどの荷重による変形、水分で溶出した成分の想定外な化学変化による材質変化やガス揮発などが挙げられる。温度や日射による床材自体の熱膨張は、剥離範囲が狭い場合は変形量が小さく、膨れとなる事例はそれほど多くはない。

(2) めくれ，剥がれ

広範囲に剥離している場合、床材端部に荷重がかかると、床材が端部から剥がれる。長尺材では部分的なめくれ、短尺材では全面的な剥がれとなる。代表的な負荷としては、重い台車の通過などの大きな荷重や、歩行時の足のこすれや軽い台車の通過などの小さい荷重の繰り返しなどが挙げられる。

(3) 突き上げ

広範囲に剥離している場合、床材が伸長すると、継ぎ目を突き合わせて施工した床材の端部が互いに押し合い突き上げる。代表的な伸長要因としては、温度や日射による熱膨張が挙げられ、気温が低くて床材が縮んだ状態で施工されがちな冬期施工の床で発生する事例が多い。一方、局所的な荷重による変形は、剥離している部分全体に分散するため、変形量が小さく、突き上げとなる事例はそれほど多くはない。

(4) 縮み

広範囲に剥離している場合、床材が収縮すると、継ぎ目を突き合わせて施工した床材の端部に隙間が生じる。代表的な収縮要因としては、温度による熱収縮が挙げられ、気温が高くて床材が伸びた状態で施工されがちな夏期施工の床で発生する事例が多い。一方、局所的な荷重による変形は、剥離している部分全体に分散するため、変形量が小さく、縮みとなる事例はそれほど多くはない。

3.2.2 実例調査

3.2.1で挙げられた不具合の状態を観察する目的で、不具合が発生している実際の建築物において、実例調査を実施した。表3.1に、調査を実施した建築物の概要を示す。不具合が修正されておらず、かつ立ち入りが制限されていない建築物は、限定されていたが、種々異なる不具合の実例を観察することができた。

例として、写真3.1に、建築物Bでの膨れの状況を示す。発生箇所はエントランス階の廊下で、周囲に明瞭なキャスト痕が何本もみられること、膨れがキャスト痕の延長上にあることから、積載重量の大きい台車の重通行荷重による伸長と判断される。また、曲がり角部で、キャストが発進、停止や“引きずり”，“ひねり”などの動作を何回も繰り返す場所であり、特に負荷が大きくなりやすい場所といえる。左下側のキャストの幅に応じた2本の膨れが右上側では1つに合体しており、負荷の繰り返しで剥離が拡大している様子が明確にうかがえる。

また、写真3.2に、建築物Dでの突き上げの状況を示す。発生箇所はラウンジを兼ねたエレベータホールで、シート床材が並列に施工されている。各列の途中(短尺辺)でも床材が継がれ、接合部は溶接されているが、突き上げは、短尺辺の接合部で発生したものである。内装仕上げを施していた時期が判明しており竣工直前の冬期であったこと、動線上ほとんど負荷がないと考えられる場所でも突き上げが発生していることから、気温が低くて床材が縮んだ状態で施工された床材が供用後すぐに暖房などで温められて伸長した結果と判断される。なお、該当建築物では、長尺辺の接合部には突き上げが発生していなかった。この点を後日再度のヒアリング時にメーカー技術者に質問したところ、シート床材製造時の樹脂の展延工程で残留する内部応力の影響で、長尺方向と短尺方向とでひずみやすさに差があるためとの見解を得た。

表3.1 不具合調査を実施した建物の概要

Building [建築物]	Completion time*1 [竣工時期]	Occurrence spot [発生場所]	Type of covering [張り床材種類]	Fail*2 [不具合]	Inferred load factor [推測される負荷の要因]
A	1966. 4	Corridor [廊下]	Tile [タイル]	Peeling [剥がれ]	Load on the edge by heavy walking to the widely peeled covering [広範囲に剥離している箇所での 重歩行による床材端部への負荷]
B	1970. 1	Corridor [廊下]	Sheet [シート]	Bulding [膨れ]	Expansion by heavy passing of trucks to the partially peeled covering [部分的に剥離している箇所での 台車の重通行による床材の伸長]
		Stairway foyer [階段 出入り部]	Sheet [シート]	Bulding [膨れ]	Expansion by heavy walking to the partially peeled covering [部分的に剥離している箇所での 重歩行による床材の伸長]
C	1986. 7	Corridor [廊下]	Sheet [シート]	Shrinkage [縮み]	Thermal shrinkage of the widely peeled covering [広範囲に剥離している床材の熱 収縮]
D	2014. 2	Elevator hall [エレベータ ホール]	Sheet [シート]	Joint tenting [突き上げ]	Thermal expansion of the widely peeled covering construed in winter [広範囲に剥離している冬期に 施工された床材の熱膨張]

*1 Renovation time is unknown. [改修工事時期などは不明] *2 There is also a possibility of a cause other than slab moisture. [床下地下水が原因とは限らない]



写真3.1 膨れ

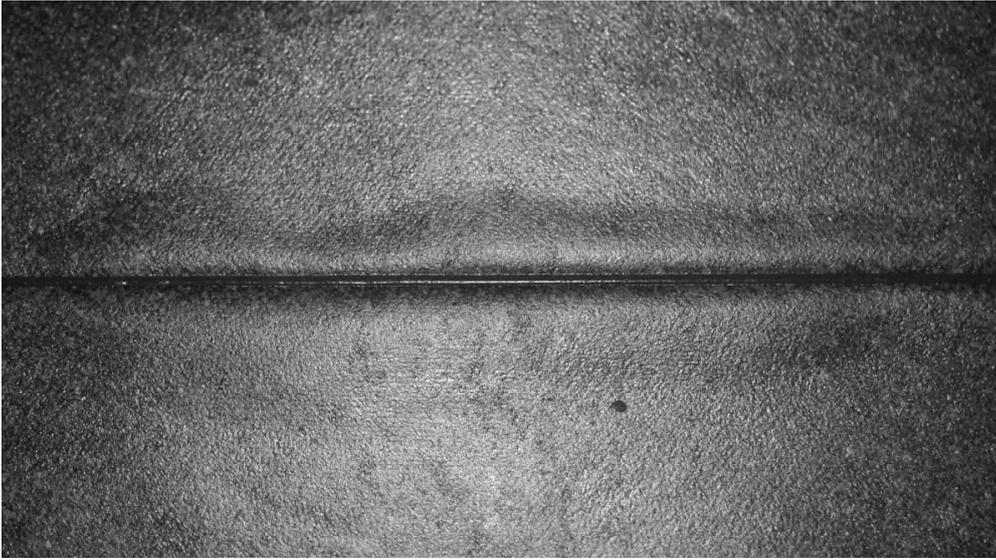


写真3.2 突き上げ

3.2.3 対象不具合の選定

3.2.2の実例調査により、“膨れ”，“めくれ，剥がれ”，“突き上げ”，“縮み”発生時の荷重作用方式の概要が把握されたが、部分的な剥離が拡大して発生する“膨れ”は、試験体内で接着力に差が生じるように床材を施工するのに工夫が必要である。また、動的な外力による負荷荷重で発生する“膨れ”，“めくれ，剥がれ”は、横山ら^{8), 9)}のように、妥当な外力発生装置の開発などに労力が必要となるのに加え、一般性のある結論を得るためには、外力ごとに装置を開発する必要がある^{13), 14), 15)}。一方、“突き上げ”および“縮み”は、温度環境を整えるだけで実施可能と考えられた。

以上より、不具合との検討について基礎的段階である本章では、筆者らの研究環境でなるべく早い時期に試験準備を整えられる不具合を対象としたことから、“突き上げ”を対象とすることとした。また、施工時に床材に不要な力をかけてしまい発生する突き上げも報告されているが本研究では対象外とする。

3.3 突き上げ試験方法の設定

本章では、以下の手順で、突き上げが発生しやすい状況を擬似的に再現することとした。

- ① 張り床材施工前に、床材を冷却し、収縮させておく
- ② 2枚1組の床材を、端部を突き合わせて床下地に接着する
- ③ 伸長の方向を制御するため、突き合わせ部の逆端を固定する
- ④ 床材施工後に、床材を温め、伸長を促進する

ここで、①の床材冷却温度は、床材開発メーカーの製品カタログでは接着剤中の水分の凍結や硬化反応速度の低下などの観点から気温5℃未満の場合に対策を求める記述が多いことから、5℃とした。具体的には、冬期夜間屋外で床材を3時間以上を目安に冷却し、気温5℃程度となっている時間帯(深夜23時～1時頃または早朝4～5時頃)に施工することとした。

②の床材は、剥離している部分が長いほど伸長も大きく突き上げやすいと考えられるが、実験室の制約上なるべく短くしたかったことから、3.2.2の実例調査で突き上げが発生していた最も短い床材を参考に450mmとした。幅は、短いほど端部全辺を正しく突き合わせて施工しやすいと考えられることから、幅方向に偏曲しない程度を確保し、60mmとした。加えて、突き合わせ端部の垂直性は荷重作用に大きく影響すると考えられたことから、製品製造時に用いる裁断機で切断することとした。床材の施工方法は、製品に指定された接着剤を楯目ごてで伸ばしたうえで、床材を設置し、ローラで圧着する方法とした。

③の突き合わせ部の逆端の固定には、床材施工用の接着剤よりも強力なシアノアクリレート系速硬接着剤(いわゆる瞬間接着剤)を用いることとした。具体的には、接着剤を塗布する際に床材端部10mm程度には付着しないよう床下地を養生テープで保護しておき、ローラ圧着後に養生テープを除去したうえで瞬間接着剤を適量流し入れることとした。

④の伸長促進温度は、実験室の常温である20℃とした。具体的には、床材施工1時間後に試験体を屋外から実験室に移動し、静置することとした。

以上であるが、これらの条件を満たした実験を実施するため、床下地を模擬した試

験体は、実験室の制約も勘案し、大きさ1200mm×300mmとした。これは、上面仕上げに費やす労力条件や養生条件を厳密には管理できない試験体端部を除外したうえで、同一の接着剤で3組、異なる2種の接着剤で1組ずつ、床材を施工できる寸法である。また、厚さは、コンクリート中に保持される水分量に影響すると考えられるが、3.2.2の実例調査結果から突き上げは床材施工後比較的短期間に発生すると想定され、コンクリートの深い範囲に含まれる水分の影響は小さいと考えられた。このことから、実験の簡便さを優先し、床下地の一般的な厚さの範囲で比較的薄い75mmとした。

3.4 突き上げ試験の試行

3.3で述べた方法で突き上げが発生しやすい状況を再現できることを確認する目的で、異なる水分量の床下地で突き上げ試験を試行した。

3.4.1 実験の概要

(1) 試験体の作製

図3.1に、試験体の概要を示す。試験体の概要は、3.3で述べたとおりである。1つの試験体に、タイルとシートを1組ずつ、同一の接着剤で施工する(ビニルで接着するタイルとゴムで接着するシートは1つの試験体に施工することとした)。

床下地の水分量は突き上げ試験を実施するまでの乾燥期間で変化させることとし、コンクリートや上面仕上げ作業の条件は1種とした。表3.2に、コンクリートの概要を示す。試験体に用いるコンクリートは、現場で床下地にごく一般的に用いられる普通27-18-20Nとした。また、表3.3に、試験体作製時の各作業に費やす労力(用いる道具、費やす時間など)をまとめた施工条件の概要を示す。施工条件は、現場で一般的なもの(ならし後むら直し1回、押え2回を施し、気中養生したもの)とし、作業時間なども実状に即して設定した¹²⁾。ただし、ならし作業は、水分量への影響が小さいことから、突き上げ試験を円滑に実施するため表面を平滑にすることを優先し、作業時間は設定しなかった。

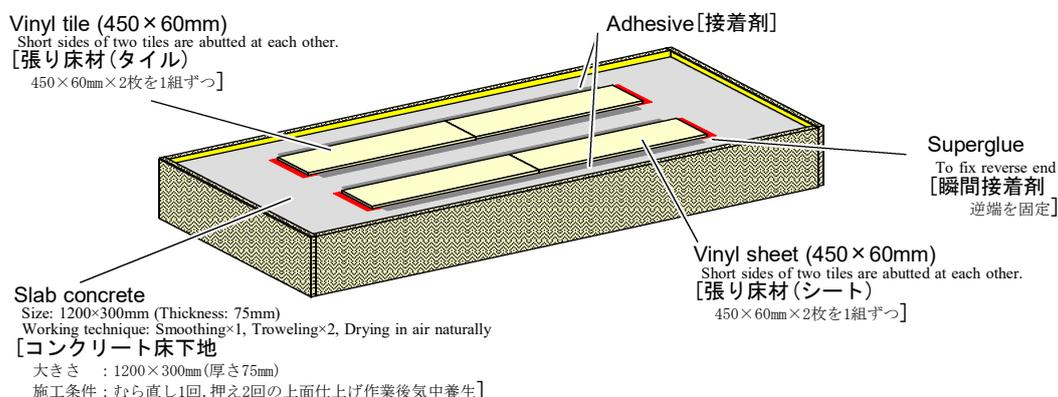


図3.1 試験体の概要

表3.2 コンクリートの概要

Binder type [セメント]	Target slump [スランブの呼び値] (cm)	Target compressive strength [呼び強度]	Water-to-binder ratio [水セメント比] (%)	Fine aggregate ratio [細骨材率] (%)	Water quantity [単位水量] (kg/m ³)
N*	18	27	51.5	45.1	184

* Ordinary portland cement [普通ポルトランドセメント]

表3.3 施工条件の概要

Items [項目]	Details* [内容]
Concrete pour [生コン投入]	Pour uniformly by the whole of the form [型枠の全体に均一に投入]
DOKOU Spreading [土工 荒ならし]	Scoop, Hoe [スコップ, ジョレン] No time limit [時間設定せず]
DOKOU Compaction [土工 締固め]	Concrete vibrator [バイブレータ] 13 s (36 s/m ²)
DOMAKOU Screeding [土間工 ならし]	Screeding [ならし] The specially made ruler that can slide on the form as a rail [型枠をレールとしてスライドさせることができる特制定規] No time limit [時間設定せず]
DOMAKOU Finishing work [土間工 仕上げ]	Smoothing [むら直し] Wood trowel [木ごて] 13 s (36 s/m ²) × Once [1回]
	Troweling [押え] Steel trowel [金ごて] 9 s (23 s/m ²) × Twice [2回]
Curing method till covering construction [床材施工までの養生]	Nothing, drying in air naturally [気中養生]

* The upper line from the dotted line shows usable tools and the lower line shows the working time that can be spent. [点線より上段は使用した道具を、下段は費やす作業時間を表す]

(2) 水分計指示値の測定

水分量の測定は、日本床施工技術研究協議会が提案している測定方法、グレード⁷⁾に規定された、高周波静電容量式水分計(ケット科学社製HI-520-2, **写真3.3**参照)を用いて指示値を得る方法とした。指示値は、表層部から40mm程度の範囲の水分に応じて変化し、大きいほど水分量が多いことを示す。

突き上げ試験実施時の水分計指示値は、グレード⁷⁾を参考に、9.0, 8.0, 7.0, 5.5, 4.5の5水準とした。



写真3.3 高周波静電容量式水分計

(3) 張り床材の施工および突き上げ試験の実施

試験方法は、3.3で設定したとおりである。

表3.4に、張り床材の概要を示す。床材は、一般にタイルおよびシートの2種に大別され、製品ごとに伸長の程度や突き上げやすさが様々である。しかし、その差異は主に材料のかたさや熱に対する変形特性などの違いによって生じ、剥離するメカニズム自体にはそれほど大きな違いはないと想定される。よって、本試行では、タイルおよびシートの代表的な製品1種ずつを用いることとし、大手床材メーカーの主力製品であった塩化ビニル複層のものを選定した。なお、表には、床材のかたさの指標として曲げこわさと、熱に対する変形特性の指標として展延方向の線膨張係数を、それぞれ示した。

表3.5に、接着剤の概要を示す。張り床材用の接着剤は、一般に、アクリル、ウレタン、エポキシ、ビニル、ゴムの5系の樹脂種類のものが用いられている。ビニルはタイルにのみ、ゴムはシートにのみ用いられるが、その他はタイルとシートの両方に使用される。本試行では、これら5系全てを用いることとし、床材に指定された製品を選定した。なお、床下地の水分が接着剤に影響する場合、アクリル、ビニル、ゴムは、水溶性のため、水分で硬化が遅延したり硬化後に再乳化すると推察される。一方、ウレタン、エポキシは、水溶性ではないが、接着剤と水分との想定外の化学結合¹¹⁾や水膜の介在などの影響で接着力が低下すると推察される。

表3.4 張り床材の概要

Type [種類]	Product type [品種]	Tickness [厚さ] (mm)	Stiffness [曲げこわさ] (Pa) [※]	Linear expansion coefficient [線膨張係数] (1/K)
Vinyl tile [タイル]	Multi-layered Vinyl chloride [塩化ビニル複層]	3.0	1.41×10 ⁹	6.8×10 ⁻⁵
Vinyl sheet [シート]		2.0	3.11×10 ⁸	8.1×10 ⁻⁵

※ JISK 7106

表3.5 接着剤の概要

Adriviation [略称]	Type [種類]	Normal open time [標準オープン タイム]	Normal working time [標準張付け 可能時間]
Acrylic [アクリル]	Acrylic resin emulsion [アクリル樹脂系 エマルジョン形]	Around 15 min [15分前後]	Around maximum 60 min [最長60分程度]
Urethan [ウレタン]	Urethan resin [ウレタン樹脂系]	Around 25 min [25分前後]	Around maximum 80 min [最長80分程度]
Epoxy [エポキシ]	Epoxy resin [エポキシ樹脂系]	Around 20 min [20分前後]	Around maximum 60 - 120 min [最長60～120分程度]
Vinyl [ビニル]	Vinyl copolymer resin solvent [ビニル共重合 樹脂系溶剤形]	Around 15 min [15分前後]	Around maximum 30 - 70 min [最長30～70分程度]
Gum [ゴム]	Gum latex [ゴム系 ラテックス形]	Around 5 min [5分前後]	Around maximum 60 min [最長60分程度]

3.4.2 実験の結果・考察

表3.6に、各試験体の突き上げ発生の有無を示す。突き上げ発生の判定は、目視で突き上げが発生していると判断される最小の突き上げの高さが0.3mm程度であったことから、ノギスを用いて測定した際の突き上げ高さが0.3mm以上の試験体を突き上げ発生有りとすることとした。表より、変形追従性の大きいゴム以外のいずれの接着剤でも、水分量が多い試験体では突き上げが発生し、水分量が少なくなると突き上げが発生しない様子が確認された。すなわち、本方法により、突き上げが発生しやすい状況を再現でき、突き上げと床下地の水分量の定量的関係の検討を実施できると判断した。

なお、同じ水分量でもタイルでは突き上げるがシートでは突き上げない場合があり、比較的かたいタイルの方がシートよりも突き上げやすい傾向がうかがえた。

表3.6 各試験体の突き上げ発生の有無

Combination of floor covering and adhesive [床材と接着剤の組み合わせ]		Moisture mater reading [水分計指示値 (CONモード)]				
Floor covering [床材]	Adhesive [接着剤]	4.5	5.5	7.0	8.0	9.0
Vinyl tile [タイル]	Acrylic [アクリル]	○	○	○	○	×
	Urethan [ウレタン]	○	○	○	○	×
	Epoxy [エポキシ]	○	○	×	×	×
	Vinyl [ビニル]	○	○	○	×	×
Vinyk sheet [シート]	Acrylic [アクリル]	○	○	○	○	○
	Urethan [ウレタン]	○	○	○	○	×
	Epoxy [エポキシ]	○	○	○	×	×
	Gum [ゴム]	○	○	○	○	○

3.5 張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係の検討

3.5.1 実験の概要

3.4で設定した突き上げ試験に基づいて、突き上げと水分計指示値の関係を検討した。3.4の試行実験では比較的水分計指示値が大きい試験体でも突き上げない場合があり、関係を詳細に検討するためには、水分計指示値が多様な多数の試験体を用いた実験が必要と考えた。一方、実験室と時間の制約から、床材と接着剤の組み合わせを限定することとした。

(1) 試験体の作製

図3.2に、試験体の概要を示す。試験体は、3.4.1の(1)と同様であるが、1つの試験体に、アクリルとエポキシで1組ずつタイルを施工することとした。また、本実験でも、床下地の水分量は乾燥期間で変化させることとし、コンクリートおよび施工条件は、3.4.1の(1)と同様とした。

なお、上面仕上げに費やす労力、養生の方法などは、いずれも床下地の水分量に大きく影響するが、これらを多様とした検討は、6章で行うこととする。

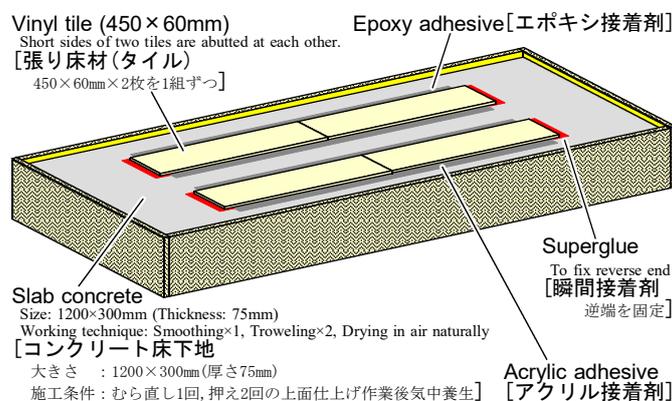


図3.2 試験体の概要

(2) 水分計指示値の測定

水分量の測定は、3.4.1の(2)と同様、水分計指示値で把握する。突き上げ試験実施時の水分計指示値は、4～11の範囲で多様となるよう留意した。特に、水分計指示値5近傍は、一般的に不具合が発生しやすくなる水分計指示値の下限値とされていることから、試験体数が多くなるよう留意した。

(3) 張り床材の施工および突き上げ試験の実施

試験方法は、3.3で設定したとおりである。ただし、冬期深夜以外での試験可能性も模索するため、一部試験体では、冷蔵庫で5℃に冷却した床材を屋外(高くとも気温8℃程度)で施工することとした。

床材は、かたく突き上げやすいタイルのみとした。また、接着剤は、樹脂種類や製品ごとに接着力や水分の影響が様々であることは容易に想像できるものの、接着力が不足し剥離するメカニズム自体にはそれほど大きな差はないと想定された。このことから、水溶性の代表としてアクリル、想定外の化学結合や水膜の影響で接着力が低下するものの代表としてエポキシを選定した。床材および接着剤の製品は、3.4.1の(3)と同様とした。

3.5.2 実験の結果・考察

図3.3に、突き上げ発生状況と水分計指示値の関係を示す。図には、3.4の試験体の結果も合わせて示している。図に示すとおり、突き上げ発生と判定したなかで最も水分量が少ない試験体の指示値は、アクリル，エポキシともに4.6であった。

また、指示値1の区分ごとに、突き上げの発生確率を算出した。図3.4に、発生確率と指示値の関係を示す。図には、3.4の試験体の結果も合わせて示している。なお、本章以降の突き上げ試験において、突き上げ発生確率が30%を上回った際の水分の量を“突き上げ発生の水分量の閾値”とした。図に示すとおり、指示値5未満では発生確率が低い一方で、指示値5を超えると急激に増加していることがわかる。この結果は、床材施工作业担当者が指示値5以上での施工を危険視する実状と、良く符合する。指示値5未満での発生確率は、アクリル：19%，エポキシ：13%であった。一方、指示値5を超えると、ばらつきがあるものの、概ね50%となっている。エポキシでは、指示値が大きくなると発生確率はむしろ下降するような傾向もみられた。この原因としては、区分内の試験体数が少ないのも一因ではあるが、床材全体にわたって接着不良となり、突き合わせ部は滑らかなまま緩やかに膨らんだことなどが想定される。すなわち、突き上げ以外の形で不具合が顕在化する可能性が非常に高く、水分量に最悪値があるという発想は危険である。

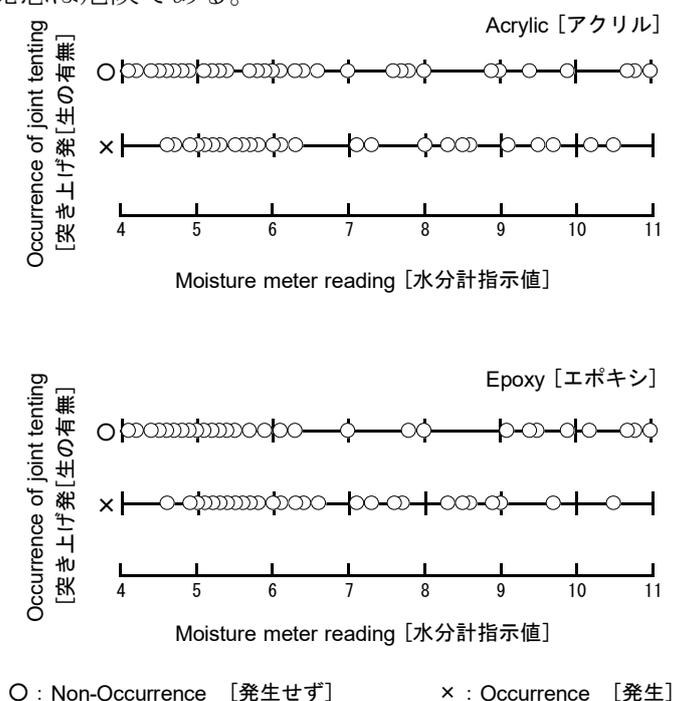


図3.3 突き上げ発生の有無と水分計指示値の関係

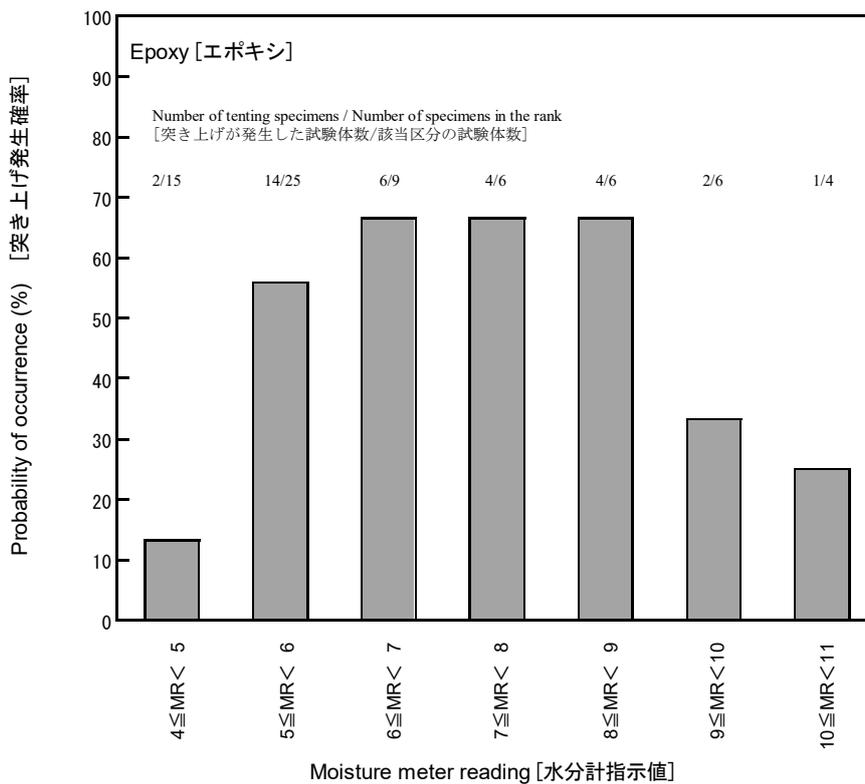
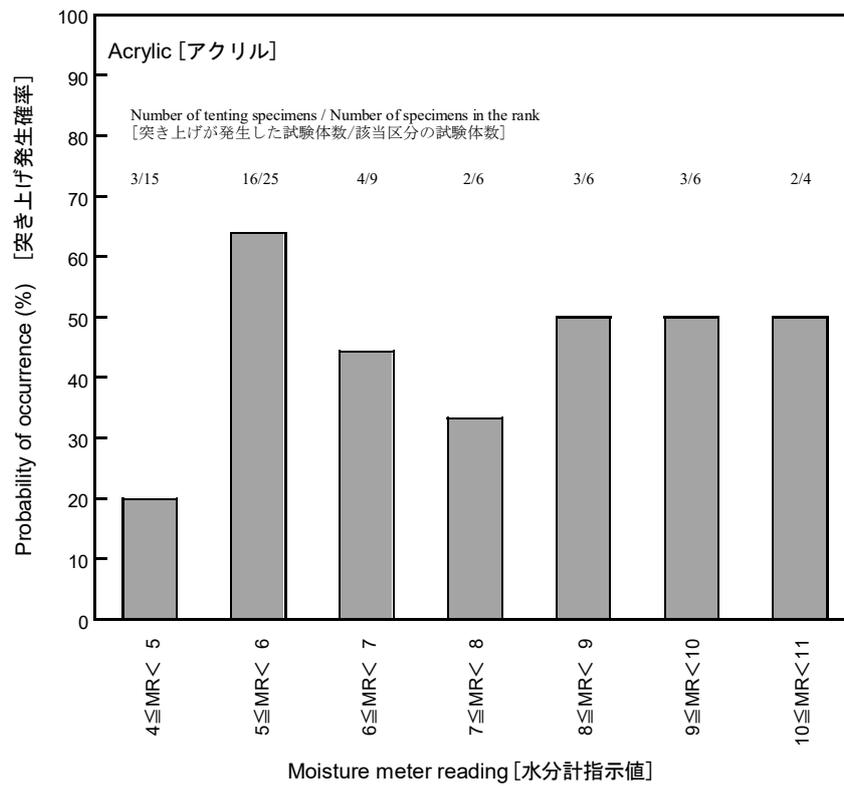


図3.4 突き上げ発生確立と水分計指示値の関係

3.6 本章の結論

本章では、張り床材の突き上げと床下地の水分量の関係を定量的に考察した。本章の結論は、以下のとおりである。

- ① 床材開発メーカーの技術者を対象としたヒアリング調査および実際の建築物での実例調査の結果、剥離した床材の不具合は、“膨れ”，“めくれ，剥がれ”，“突き上げ”，“縮み”として顕在化することがわかった。また、各不具合の荷重作用方式の概要を把握した。
- ② 実状と同様の荷重作用方式により床材に不具合を発生させる性能試験手法として、本報では、温度環境を整えるだけで実施可能な突き上げを対象とすることとした。それにともない、突き上げ試験の方法を設定し、試行実験により有効性を確認した。
- ③ 床下地を模擬した試験体を作製し、水分量を乾燥期間で変化させたうえで、突き上げ試験を実施した。その際、水分量を水分計指示値で把握し、突き上げ発生確率と指示値の関係を求めた。その結果、本報で用いた床材と接着剤の組み合わせでは、指示値5未満では発生確率が低い一方で、指示値5を超えると発生確率が大きく増加した。この値は、床材施工作业担当者が経験的に把握している不具合が発生しやすくなる指示値の下限と一致した。

以上であるが、③の結果は、上面仕上げ作業に費やす労力や養生の方法などが限定された範囲内では、床下地表層部の水分量管理指標として水分計指示値が適用可能であることを示唆するものである。

第4章

床下地の養生条件が張り床材の突き上げと 床下地表層部の水分量の関係におよぼす影響の検討

第4章 床下地の養生条件が張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係におよぼす影響の検討

4.1 本章の目的

前々章(2章)では、床下地と張り床材の接着力には、床下地表層部だけでなく内部の水分量も影響するため、水分計指示値だけで水分量を管理するのは危険であることを述べるとともに、引張接着強さ試験や90度剥離接着強さ試験などの接着力に関する物性試験では不具合の発生を予想するのは困難であり、実際の不具合の発生状況を模擬した性能試験方法を開発する必要があることを述べた。一方、前章(3章)では、代表的な不具合である突き上げを模擬した性能試験方法を開発するとともに、型枠、上面仕上げ作業方法、養生の方法などが同一であれば、水分計指示値が突き上げ発生確率と良い対応を示すことを明らかにした。

本章では、床下地内の水分の挙動や不均一性に大きく影響する要因の1つと考えられる養生の方法をとりあげ、床下地の養生条件が張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係におよぼす影響を検討した。

4.2 実験の概要

4.2.1 試験体の作製

図4.1に試験体の概要を示す。大きさは、床材の熱膨張による変形量が大きくなるよう、少なくとも一方向は比較的長くすることとし、1200×300mm(厚さ75mm)とした。

表4.1に、コンクリートの概要を示す。コンクリートは、床下地にごく一般的に用いられる、普通27-18-20Nとした。上面仕上げ作業に費やす労力の条件は、現場で一般的なもの⁹⁾とし、むら直し1回, 押え2回を適宜施した。

床下地の養生条件は、散水養生と気中養生の2種とした。散水養生は、試験体の上面が3日間冠水するよう、適宜水をかけ続けた。この期間は、現場管理担当者や上面仕上げ作業担当者を対象としたアンケート調査¹²⁾に基づき設定した。散水養生後は、すみやかに水を拭き取り、気中で養生とした。一方、気中養生は、散水を実施せず気中での養生のみとした。試験体は、4.2.3で述べる突き上げ試験を指示値11.8～3.0までの範囲で0.2ごとに実施することを想定し、予備も含め各養生で50体、計100体の試験体を作製した。

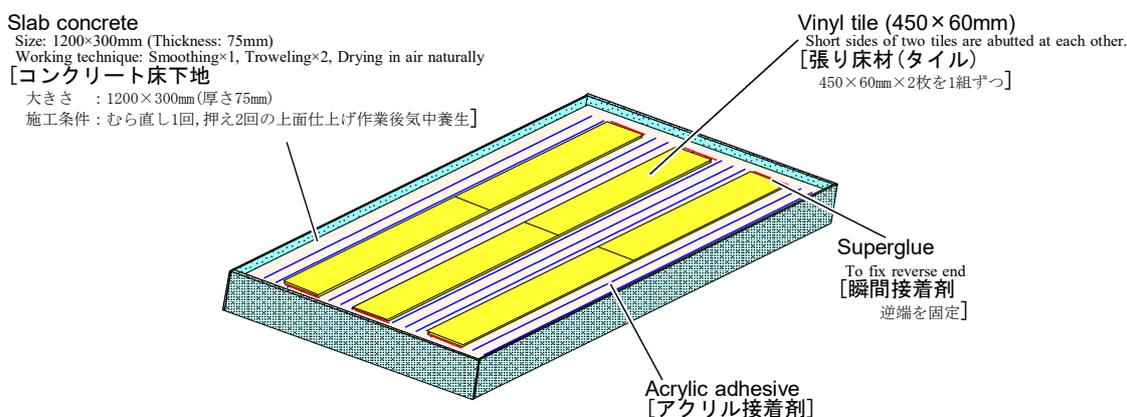


図4.1 試験体の概要

表4.1 コンクリートの概要

Binder type [セメント]	Target slump [スランブの呼び値] (cm)	Target compressive strength [呼び強度]	Water-to-binder ratio [水セメント比] (%)	Fine aggregate ratio [細骨材率] (%)	Water quantity [単位水量] (kg/m ³)
N*	18	27	55	46	185

* Ordinary portland cement [普通ポルトランドセメント]

4.2.2 水分計指示値の測定

水分計指示値の測定は、日本床施工技術研究協議会が規定する、高周波静電容量式水分計(写真4.1参照)を用いて指示値を得る方法⁷⁾とした。測定は、気中養生開始直後より、3時間おきを実施した。



写真4.1 高周波静電容量式水分計

4.2.3 張り床材の施工および突き上げ試験の実施

表4.2に、床材の概要を示す。床材は、比較的線膨張係数の大きい塩化ビニル複層タイルの代表的なもの1種を用いた。表4.3に、接着剤の概要を示す。接着剤は、現場での使用実績が多いアクリル樹脂系エマルジョン形の代表的なもの1種を用いた。突き上げ試験を実施した水分計指示値は、4.2.1でも述べたように指示値11.8～3.0までの範囲で0.2ごとに実施した。

突き上げの発生させ方は、床材施工時と養生時の温度差による熱膨張とした。ここで、前章(3章)では温度差が大きくなるよう5℃程度の冬期夜間屋外で施工し20℃の実験室で養生したが、本章では、通年検討できるよう、冷凍庫で5℃に冷却した床材を25℃の実験室で施工しそのまま養生することとした。

表4.2 張り床材の概要

Type of covering [張り床材種類]	Product type [品種]	Thickness [厚さ] (mm)	Stiffness* [曲げこわさ] (Pa)	Coef. of linear expansion [線膨張係数] (1/K)
Tile [タイル]	Multi-layered Vinyl chloride [塩化ビニル複層]	3	1.41×10 ⁹	6.8×10 ⁻⁵

* One of the indicators of hardness (JIS K 7106) [かたさの指標の1つ(JIS K 7106)]

表4.3 接着剤の概要

Addriviation [略称]	Type [種類]	Normal open time [標準オープンタイム]	Normal working time [標準張付け可能時間]
Acrylic [アクリル]	Acrylic resin emulsion [アクリル樹脂系エマルジョン形]	Around 15 min [15分前後]	Around maximum 60 min [最長60分程度]

4.3 実験の結果・考察

4.3.1 水分計指示値の経時変化

図4.2に、水分計指示値の経時変化を示す。なお、縦軸の「Over range」は、水分計の測定範囲を逸脱した量の水分が含まれていることを表す。図に示すとおり、気中養生のみの試験体は、打設10日後程度までに急速に指示値が減少し、14日後以降は不具合が発生しにくくなると一般的に認知されている指示値5未満となった。一方、散水養生の試験体は、打設20日後に測定可能な指示値12未満となり、その後の減少も気中養生のみの初期よりも緩やかであった。その結果、打設28日後での指示値は9以上、56日では6以上であり、気中養生のみと比較して著しく大きくなった。また、指示値5未満となったのは、110日後以降であった。

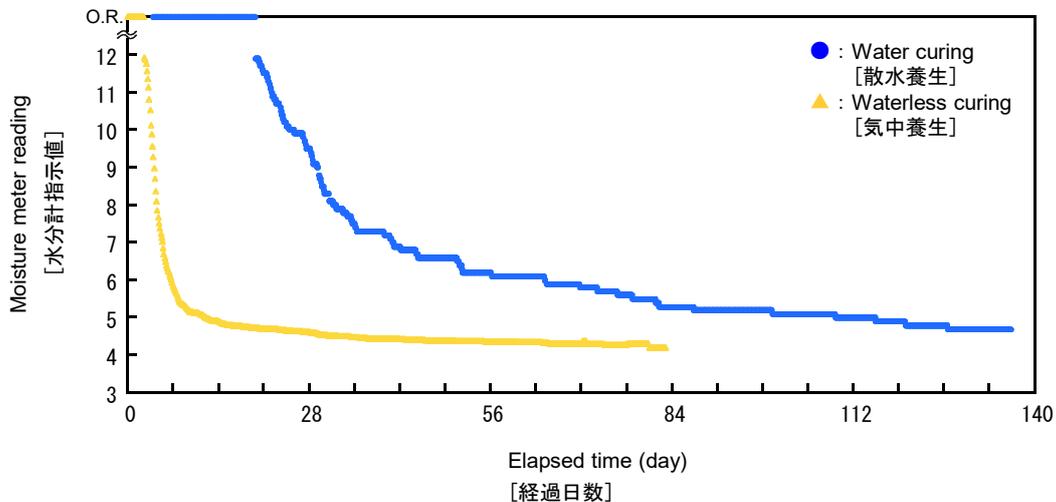


図4.2 水分計指示値の経日変化

4.3.2 突き上げ発生確率と水分計指示値の関係

図4.3に、突き上げ発生確率と水分計指示値の関係を示す。図に示すとおり、いずれの養生方法でも、水分量が大きいと発生確率が高く、ある値以下となると著しく発生確率が低下する傾向がみられた。気中養生のみの試験体では、発生確率が大きく変化する閾値は5であった。この結果は、前章(3章)と符合し、かつ経験的に知られている一般的な知見とも良く符合する。一方、散水養生を施した試験体では、閾値は7(打設42日後以降)であった。すなわち、閾値は、気中養生のみの場合と散水養生を施した場合とで、大きく異なった。この原因として、指示値と連動するのは床下地に貯蓄された水の量である一方、剥離の発生機構に影響するのは床下地が放出する水であり、両者には微妙な差異があるためと想定される。この結果は、養生方法や期間などの条件を考慮せずに、水分計指示値を一律に管理指標として用いることはできないことを示唆している。

ただし、この散水養生での閾値は、あくまでも本報の散水方法の場合での結果にすぎず、散水方法を変化させれば閾値も変化することが容易に推察されることも付記する。また、指示値が大きい範囲では指示値が増大するほど発生確率が減少している傾向がうかがえるが、この原因としては、床材が広い範囲で剥離しかえって突き上がりにくくなったことなどが想定される。すなわち、突き上げ以外の形で不具合が顕在化する可能性が非常に高く、水分量に最悪値があるという発想は危険である。

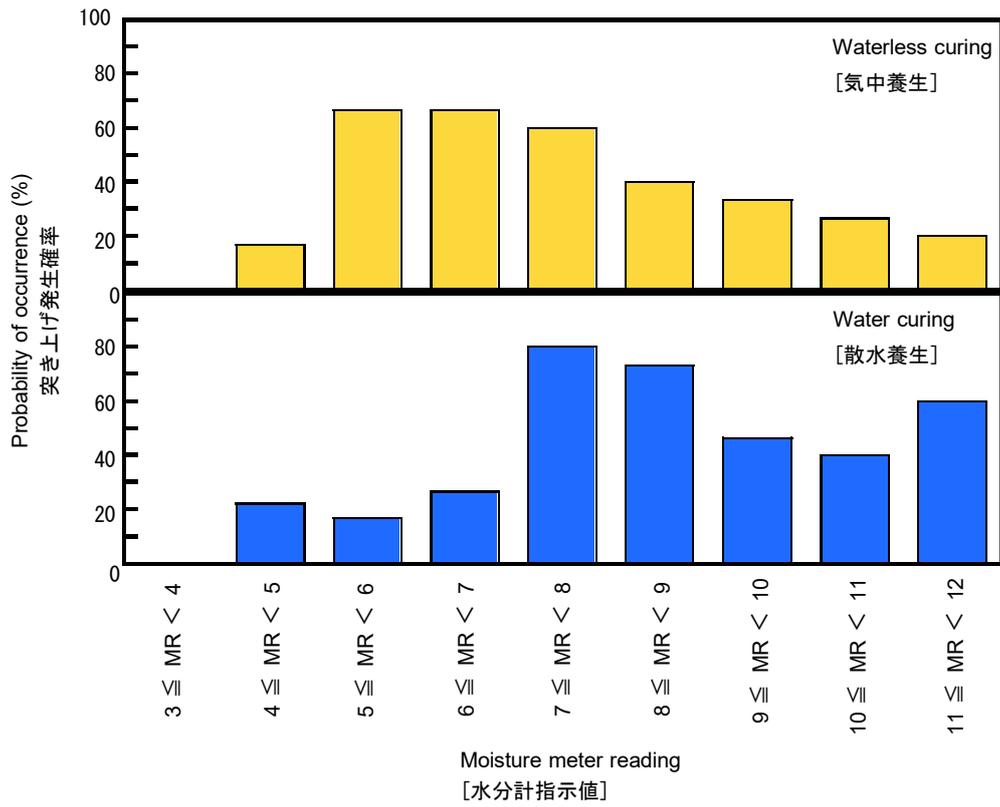


図4.3 突き上げ発生確率と水分計指示値の関係

4.4 本章の結論

本章では、床下地の養生条件が張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係におよぼす影響を検討，考察した。本章の結論は以下のとおりである。

- ① 水分計指示値の経時変化は、気中養生のみの場合と散水養生を施した場合とで大きく異なる。例えば、気中養生の場合、水分計指示値が5.0未満となるのは打ち込み後14日程度であるのに対し、散水養生を施した場合、110日以上を要するなど、散水養生を施した場合、水分計指示値の低下は遅くなる。
- ② 床材の突き上げ発生確率は、床下地の水分計指示値がある程度以下になれば著しく低下することが明らかとなった。
- ③ 突き上げの発生確率が低下する指示値の閾値は、気中養生のみの場合、指示値5.0であるのに対し、散水養生を施した場合、指示値7.0であり、両者で大きく異なつた。この原因として、指示値と連動するのは床下地に貯蓄された水分の量である一方、剥離の発生機構に影響するのは床下地が放出する水であり、両者には微妙な差異があるためと想定される。

以上であるが、③の結果は、床下地の水分量の管理方法として、水分計指示値のみの管理では不十分であることを示唆している。本章以降は、接着力低下に影響をあたえるであろう床下地から放出される水分に焦点をあて、検討する。

第5章

張り床材の突き上げと床下地の放出水分量の関係の検討

第5章 張り床材の突き上げと床下地の放出水分量の関係の検討

5.1 本章の目的

前章(4章)では、コンクリート打ち込み後の下地の養生条件の影響について検討を行った結果、養生初期に床下地表面に散水をしない場合、突き上げ発生確率が著しく高くなる水分計指示値の境界値は5程度であるのに対し、散水した場合、7程度となることを示した。すなわち、突き上げ発生確率と水分計指示値の関係は養生条件で異なることが明らかとなった。

ここで、水分計指示値は、コンクリート表面に電極を押し当てて測定される静電容量に基づいて、下地表層部に含まれる水分の量を概略推定した指標である。これに対し、突き上げの発生に直接的に影響するのは、接着力の低下を招く下地表面から放出される水分の量(以降“放出水分量”と記す)と思われる。放出水分量には、下地に含まれている水分の量だけでなく、水分が放出される際通過する表層部の緻密さが影響する。また、表層部の緻密さには、養生初期の散水の有無が大きく影響する^{3), 4)}。このため、養生条件の違いにより水分計指示値の境界値が変化したものと推察された。

本章は、上記結果をふまえ、養生初期における散水の有無が放出水分量および水分計指示値におよぼす影響を把握するとともに、張り床材の突き上げと放出水分量および水分計指示値の関係について検討することを目的とする。

5.2 張り床材の突き上げと被接着床材熱膨張率の関係の検討

前章まで(3, 4章)突き上げの指標として用いてきた突き上げ発生確率は、不具合発生の有無を直接的に表す指標ではあるが、本研究で対象としている床材の熱膨張以外にも、下地の表面性状の微妙なばらつきなど実験的に制御困難な要因の影響を受けやすく、安定性に欠けている。よって、これら不確定要因をできるだけ排除した条件下で、張り床材の突き上げ発生確率と、床下地に接着した床材の熱膨張率(以降“被接着床材熱膨張率”と記す)の関係を把握し、突き上げ発生確率を被接着床材熱膨張率で代替することを目的とした予備実験を実施した。

5.2.1 実験の概要

予備実験では、表面性状のばらつきが大きいコンクリートに代え、比較的安定したフレキシブルボードを下地として用いた。実験に用いる床材は、一般的に普及しており、かつ突き上げが比較的発生しやすい、塩化ビニル製複層タイル1種とした。また、接着剤は、接着力が種々異なる試験体群とする目的で、アクリル樹脂系、ウレタン樹脂系、エポキシ樹脂系および変成シリコン系の4系5種とした。

図5.1に、試験体の概要を示す。図に示すように、1枚のフレキシブルボードに突き上げ発生確率測定用の試験片(以降“試験片A”と記す)2枚1組を5組と、被接着床材熱膨張率測定用の試験片(以降“試験片B”と記す)3枚を、所定の接着剤で貼り付けた。試験片Aは、長さ450mm、幅60mmに切断した床材を2枚突き合わせて接着したものであり、突き上げが発生しやすいよう、突き合わせ部と反対側の端部は、上記5種の接着剤より接着強度が大きい瞬間接着剤で固定している。突き上げ発生確率は、5組の試験片での突き上げ発生の有無を目視および触診で判定し、発生した試験片数を全試験片数で除して求めた。また、突き上げが発生した試験片では、突き上げの高さを測定した。

一方、試験片Bは、長さ450mm、幅60mmに切断した床材をそのまま接着したものである。被接着床材熱膨張率は、試験片の両端の長さの測定結果から算出することとした。試験片の両端の長さは、各長辺の側面から10mm内側の位置(1試験片あたり2箇所)で測定した。測定には精度0.01mmのノギスを用いた。被接着床材熱膨張率は、3試験片6箇所での膨張前後の長さの測定結果からそれぞれ算出し、その平均を求めた。なお、本研究で測定した被接着床材熱膨張率は、接着剤で下地に拘束された床材の熱膨張率であり、床材のみならず下地や接着剤の熱膨張も影響していることに留意する必要がある。

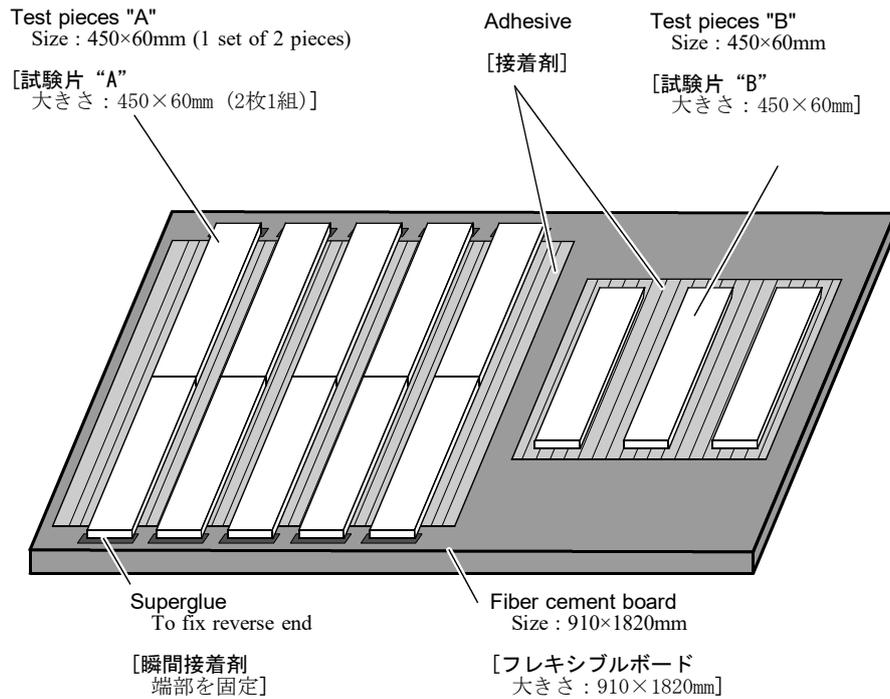


図5.1 5.2.1での試験体の概要

以上に述べた試験体を用い、以下に述べる方法で、突き上げ発生確率および被接着床材熱膨張率を測定した。

- 1) 温度5℃の実験室にて、フレキシブルボード、所定の大きさに切断した床材、および接着剤を24時間養生する。
- 2) 養生後、同一の実験室にて試験体を作製する(フレキシブルボードに試験片を貼り付ける)。
- 3) 試験体作製後、同一の実験室にて12時間養生する。
- 4) 養生後、試験片Bの長さを測定したうえで、温度30℃の実験室に試験体を移動する。
- 5) 移動7時間後に、試験片Aにおける突き上げ発生の有無を判定し、突き上げ発生確率を求める。また、突き上げが発生した試験片の突き上げ高さを測定する。さらに、試験片Bの長さを測定し、被接着床材熱膨張率を算出する。

5.2.2 実験の結果・考察

図5.2に、実験の結果得られた突き上げ発生確率と被接着床材熱膨張率の関係を示す。図は、4系5種の接着剤による結果を、それぞれプロットしたものである。図より、両者はよい対応を示しており、被接着床材熱膨張率が大きいほど突き上げ発生確率が高くなっていることがわかる。すなわち、被接着床材熱膨張率で突き上げ発生確率を予測できることがわかる。以上より、本研究では、以降、突き上げ発生確率を代替する不具合の指標として、被接着床材熱膨張率を用いることとした。ただし、被接着床材熱膨張率で予測できるのはあくまでも同一の床材および下地を用い接着力を変化させた場合の突き上げ発生確率の相対的序列であり、床材、下地が異なる場合、突き上げ発生確率と被接着床材熱膨張率の絶対値の関係は変化することに留意する必要がある。

図5.3に、参考として、発生した突き上げの高さと被接着床材熱膨張率の関係を示す。図の縦軸は、5組の試験片で測定した突き上げ高さの最大値（以降“最大突き上げ高さ”と記す）を表す。図より、最大突き上げ高さも被接着床材熱膨張率が大きいほど高くなる傾向が読み取れるが、被接着床材熱膨張率が $8.0 \times 10^{-5}/K$ 程度の2つの試験体で最大突き上げ高さが大きく異なっており、ばらつきが大きくなっていることがわかる。この理由として、突き上げが発生した後の高さには、下地との剥離発生箇所での試験片の挙動や、試験片端部同士の接触状況など、突き上げ発生確率より多くの不確定要因が影響することが考えられる。

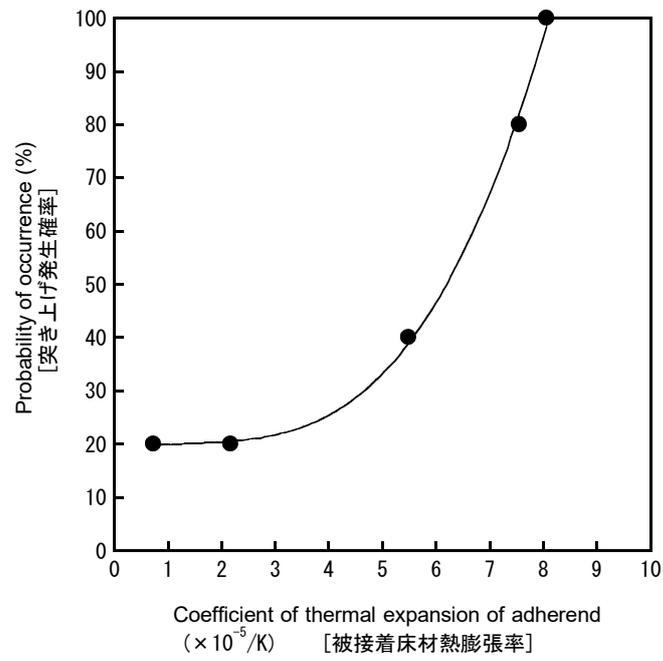


図5.2 突き上げ発生確率と被接着床材熱膨張率の関係

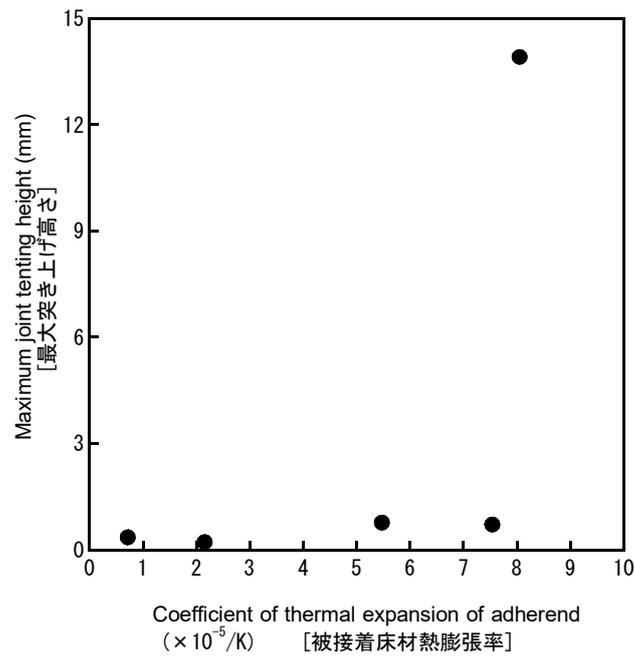


図5.3 最大突き上げ高さ と被接着床材熱膨張率の関係

5.3 張り床材の被接着床材熱膨張率と床下地の放出水分量および水分計指示値の関係の検討

5.3.1 実験の概要

(1) 試験体の概要

図5.4に、本実験に用いた試験体の概要を示す。図に示すように、コンクリート床下地に長さ450mm、幅60mmに切断した床材3枚を貼り付け、試験体とした。試験体の大きさは、床材の熱膨張試験に支障がないことや、コンクリート打ち込み後に行う上面仕上げ作業に支障がないことなどに留意し、600×300mmとした。また、コンクリートの厚さは、75mmとした。

表5.1に、試験体に用いたコンクリートの概要を示す。コンクリートは、床スラブにごく一般に用いられる「普通30-18-20N」とした。また、上面仕上げ作業の内容は、現場で一般的なものとすることとし、木ごてによるむら直し1回、および金ごてによる押え2回とした¹²⁾。上面仕上げ作業が終了した試験体は、気温 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の実験室に移動し、養生した。養生条件は、表5.2に示す気中養生と散水養生の2種とした。また、コンクリート表面に床材を貼るタイミングは、高周波静電容量式水分計(ケット科学社製HI-520-2)で測定される指示値で管理することとし、表に示す5水準を設定した。床材は、5.2で用いたものと同一の塩化ビニル製複層タイル1種とした。また、接着剤は、一般的に普及し張り床材の施工に幅広く用いられているアクリル樹脂系1種とした。

以上に述べた養生条件2種×水分計指示値5水準=10体の試験体に、床材を貼らずに5.3.2で述べる変色表値および水分計指示値の経時変化を測定するための試験体(以降“経時変化測定用試験体”と記す)を各養生条件1体加えた、計12体の試験体を作製した。

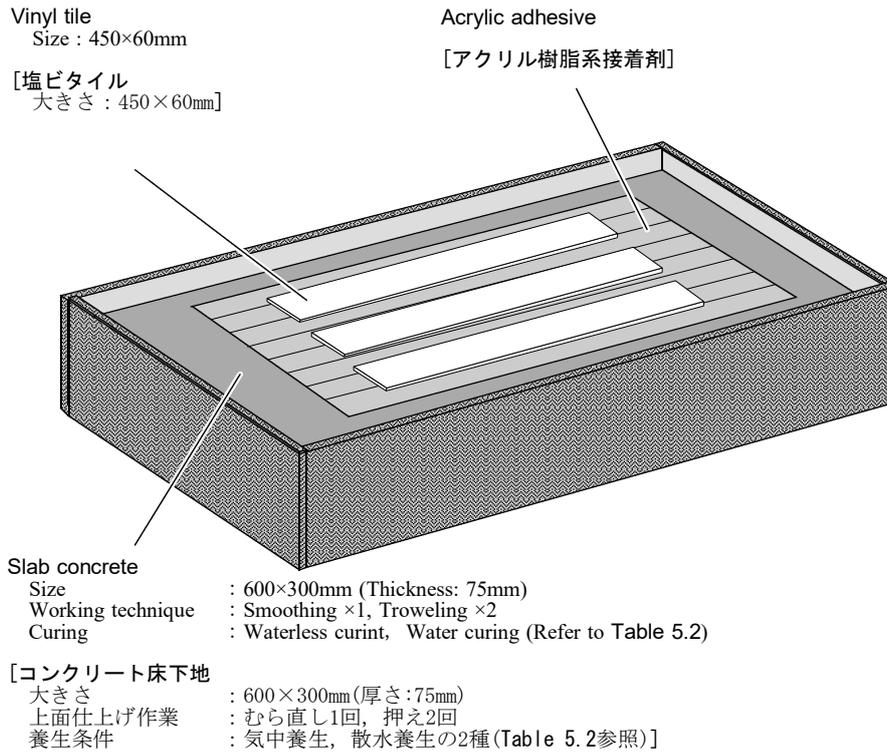


図5.4 5.3での試験体の概要

表5.1 コンクリートの概要

Binder type [セメント]	Water-to-binder ratio [水セメント比] (%)	Fine aggregate ratio [細骨材率] (%)	Water quantity [単位水量] (kg/m ³)	Admixture type [混和剤]
N	51	46	183	Ordinary plasticizer [AE減水剤]

表5.2 養生条件の概要と床材施工時の水分計指示値

Curing [養生条件]	Summary [概要]	Moisture meter reading just before floor covering construction [床材施工時の 水分計指示値]
Waterless curing [気中養生]	Concrete surface was not cured by water. It was dried naturally in air after the finishing work. [表面に散水せず、上面仕上げ作業終了直後から気中で養生]	5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0
Water curing [散水養生]	Concrete was cured for 3 days after 24 hours from the end of finishing work. Water was poured on the floor surface. After that, the surface water was wiped off, and the specimens cured in the air. [上面仕上げ作業終了24時間後から3日間、表面が冠水するように適宜散水し、その後速やかに表面の水を拭き取り気中で養生]	5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0

(2) 放出水分量の測定方法

従来、施工現場では、張り床材の施工可否の経験的な判定方法として、不透湿シートにより下地表面を覆い周囲をガムテープなどで封かんし翌日シート内面の結露水の有無を調べる方法や、不透湿シートと下地の間に新聞紙を挿入し翌日それが燃えるか否かを調べる方法などが、実施されてきた^{5), 6)}。

これらの方法を参考に、1.3で述べたとおり、湯浅，笠井ら⁵⁾は、湿気に反応して色に変化する乾燥度試験紙を透明な不透湿性テープを用いてコンクリート表面に貼付し、コンクリート表面からの水分蒸発速度を測定する“乾燥度試験紙法”を提案している。本研究では、不透湿性テープで封かんされた状態の試験紙の周囲の湿気が多いということは、コンクリート表面から放出された水分量が多いことを表すとみなし、乾燥度試験紙法を放出水分量の測定方法として適用することとした。放出水分量は乾燥度試験紙法で測定することとした。この方法は、あらかじめ100×100mm程度に切断した不透湿性透明ビニル粘着テープの中央に12×40mmの乾燥度試験紙(ADVANTEC社製)を貼付し、このビニル粘着テープをそのままコンクリート床下地表面に貼付し、10分後の色を付属の「標準変色表」(写真5.1参照)と照合して評価するものである。写真に示すように、標準変色表には12種の見本色が載せてあり、それぞれに1.0~10.0の数値(以降“変色表値”と記す)が振られている。変色表値は湿度の関数であり、大きいほど試験紙周囲の湿度が高いことを表す。ただし、目視による色の照合には個人差をとまなうことから、本研究では、色彩・色差計(コニカミノルタ社製CR-400)を用いて、変色表値を求めることとした。具体的には、あらかじめ未使用の乾燥度試験紙と標準変色表に載せられた各見本色の色差を測定し、変色表値と色差の関係を求めておいたうえで、実験時にはコンクリート表面に貼付した直後と10分後の試験紙の色差を測定し、上記関係と照合して変色表値を求めることとした。ここで、測色の際の光源はC光源とし、L*a*b*表色系で色差を求めることとした。なお、測定時は試験紙の初期の色度が、変色表値の初期値1.0と同程度の色度であることを測定ごとに確認している。写真5.2に、放出水分量の測定手順を示す。また、図5.5に、上記方法で求めた変色表値と色差の関係を、回帰直線および回帰式、相関係数とともに示す。

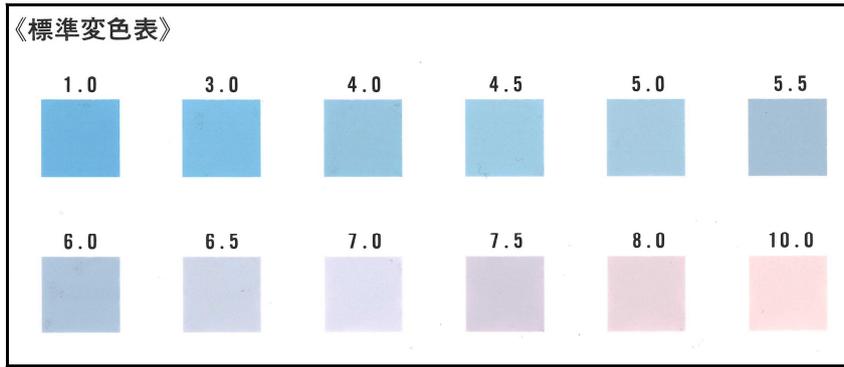
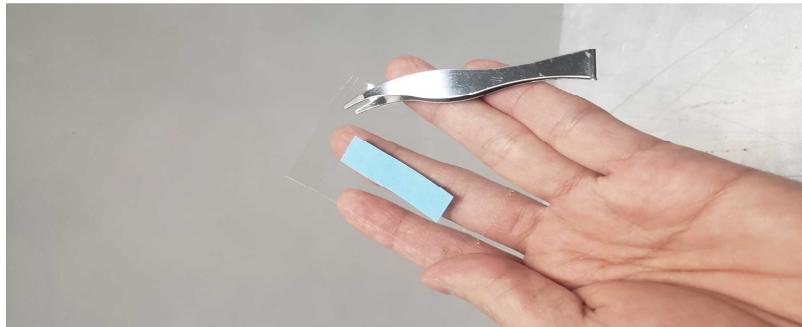


写真5.1 標準変色表



Step 1 Take out the humidity test paper
[手順① 乾燥度試験紙を取り出す]



Step 2 Attach the test paper on the impermeable tape
[手順② 試験紙を不透湿性テープに貼付する]



Step 3 Stick the test paper on the concrete surface
[手順③ 不透湿性テープをコンクリート表面に貼付する]



Step 4 Measure with the color reader
[手順④ 色彩・色差計で測色する]

写真5.2 放出水分量の測定手順

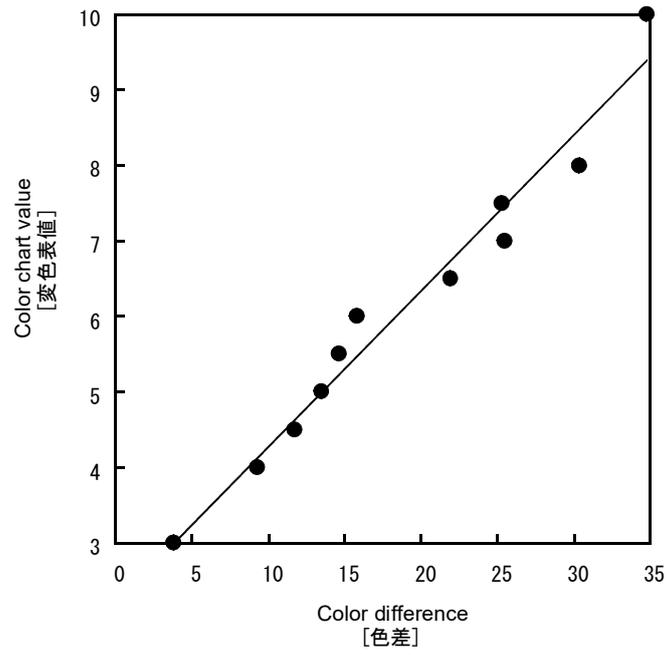


図5.5 変色表値と色差の関係

(3) 張り床材の施工および熱膨張試験の実施

5.3.1の(1)で述べた通り、養生中の試験体のコンクリート表面を対象に変色表値および水分計指示値を適宜測定し、水分計指示値が所定の値まで乾燥した試験体について、以下の要領で熱膨張試験を実施した。

- 1) 試験体を温度5℃の実験室に移動し、所定の大きさに切断した床材、および接着剤とともに24時間養生する。
- 2) 養生後、同一の実験室にて床材を貼り付ける。
- 3) 床材を貼り付けた後、同一の実験室にて48時間養生する。
- 4) 養生後、床材の長さを測定したうえで、温度30℃の実験室に試験体を移動する。
- 5) 移動9時間後に、5.2で述べたと同一の方法で床材の長さを測定し、被接着床材熱膨張率を算出する。

ここで、3)での養生時間を48時間としたのは、接着剤の硬化時間を考慮したことによる。また、5)で床材の長さの測定を試験体移動9時間後としたのは、予備的検討で被接着床材熱膨張率の経時変化を測定した結果、9時間程度で収束したことによる。

5.3.2 実験の結果・考察

(1) 変色表値および水分計指示値の経時変化

図5.6に、経時変化測定用試験体で測定した、水分計指示値の経時変化を示す。図中、横軸は、コンクリート打ち込み後の経過日数を表す。また、縦軸の「Over range」は、水分計の測定範囲を逸脱した量の水分が含まれていることを表す。図より、経過日数が同じでも指示値は養生条件により大きく異なり、○で示した散水養生の場合、●で示した気中養生と比較して乾燥が大幅に遅れることが確認できる。具体的には、気中養生では、打ち込み後5日程度で水分計の測定範囲内まで乾燥した後、15日程度まで指示値が急激に減少しそれ以降漸減しているのに対し、散水養生では、水分計の測定範囲内まで乾燥するのに23日程度を要し、その後も指示値の減少は気中養生より緩やかとなっている。以上の結果は、前章(4章)と一致する。

つぎに、図5.7に、経時変化測定用試験体で測定した、変色表値の経時変化を示す。図中、横軸は図5.6と同じコンクリート打ち込み後の経過日数であり、縦軸の変色表値は大きいほど放出水分量が多いことを表す。図より、気中養生では、打ち込み後1日程度の変色表値は大きいですが、10日程度までに急激に減少し、以降60日程度まで漸減した後、ほぼ一定の値に収束していることがわかる。一方、散水養生では、打ち込み後7日程度までの変色表値は非常に小さいが、時間の経過とともに増加し、14日程度で気中養生と同程度となった後、気中養生よりやや早く漸減し、最終的に気中養生と同程度の値に収束している。ここで、打ち込み後14日程度までの変色表値が気中養生と大きく異なる特徴的な変遷を示す理由や、水分計指示値はいずれの時点でも散水養生の方が気中養生より大きいのに対し変色表値は散水養生の方が小さいか同程度となっている理由については、今後の検討課題とする。

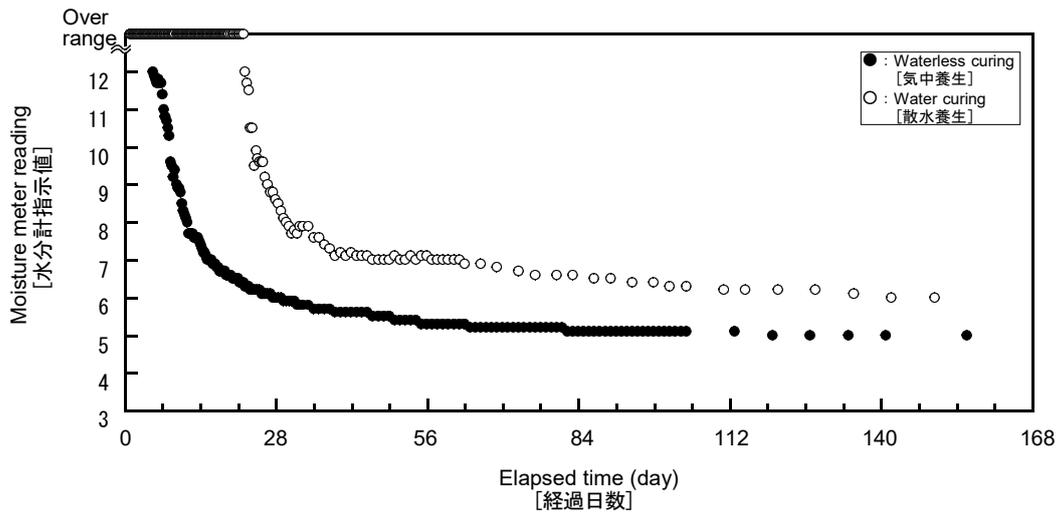


図5.6 水分計指示値の経時変化

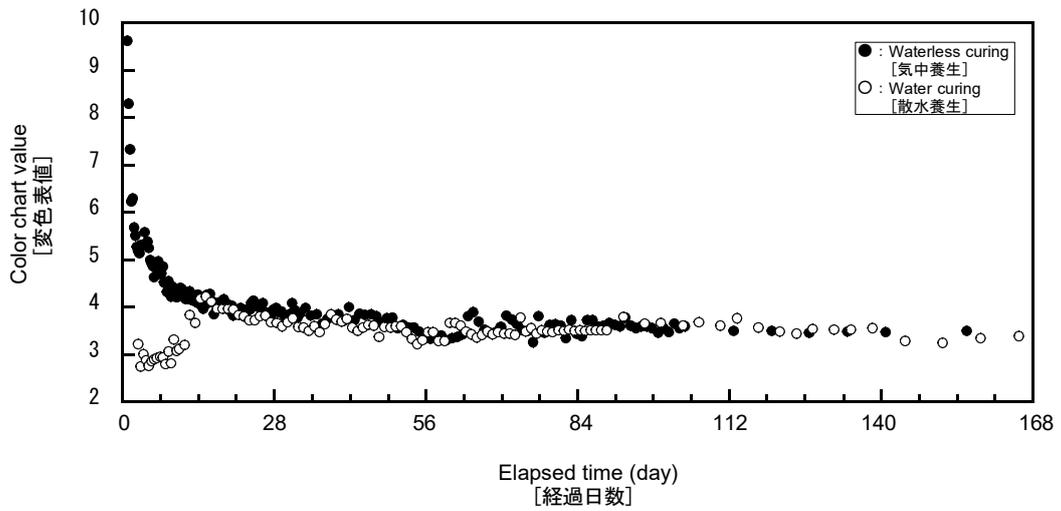


図5.7 変色表値の経時変化

(3) 被接着床材熱膨張率と変色表値および水分計指示値の関係

図5.9に、床材の被接着床材熱膨張率と下地の水分計指示値の関係を示す。図中、横軸の水分計指示値は、5.3.1の(3)で述べた被接着床材熱膨張率の測定手順のうち、1)の試験体を温度5℃の実験室に移動する直前に測定したものである。図より、気中養生を施した試験体では、指示値が大きいほど被接着床材熱膨張率が大きくなっていることがわかる。すなわち、指示値が大きいほど、下地と床材の接着力不足に起因する不具合が発生する可能性が高いことがわかる。この結果は、前章(4章)までの検討結果や、多くの張り床施工関係者の経験的知見と整合する。一方、散水養生でも、指示値が大きくなるにしたがって被接着床材熱膨張率が大きくなる傾向がわずかにうかがえるが、被接着床材熱膨張率の変化は気中養生を施した試験体と比較して小さい。この結果、同じ指示値でも、被接着床材熱膨張率は養生条件により大きく異なる値となっている。このことは、下地と床材の接着力不足に起因する不具合の発生を、水分計指示値のみで予測するのは困難であることを示唆している。

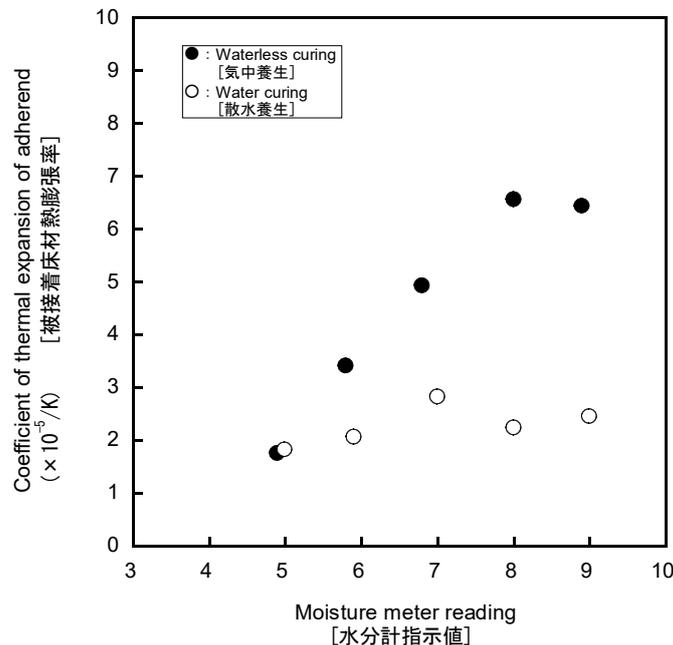


図5.9 被接着床材熱膨張率と水分計指示値の関係

つぎに、図5.10に、床材の被接着床材熱膨張率と下地の変色表値の関係を示す。図中、横軸の変色表値は、上記水分計指示値と同じ時点で測定したものである。図に示す通り、気中養生を施した試験体と散水養生を施した試験体が同一の対応を示しており、両者の関係は養生条件により異なっていないことがわかる。このことは、下地と床材の接着力不足に起因する不具合には、放出水分量が影響していることを示唆している。

以上より、床材施工時の下地の水分量の管理指標としての、放出水分量の適用性が明らかとなった。なお、図5.9、図5.10に示した被接着床材熱膨張率と水分計指示値および変色表値の絶対値の関係は、床材、接着剤および実験条件により変化することに留意する必要がある。

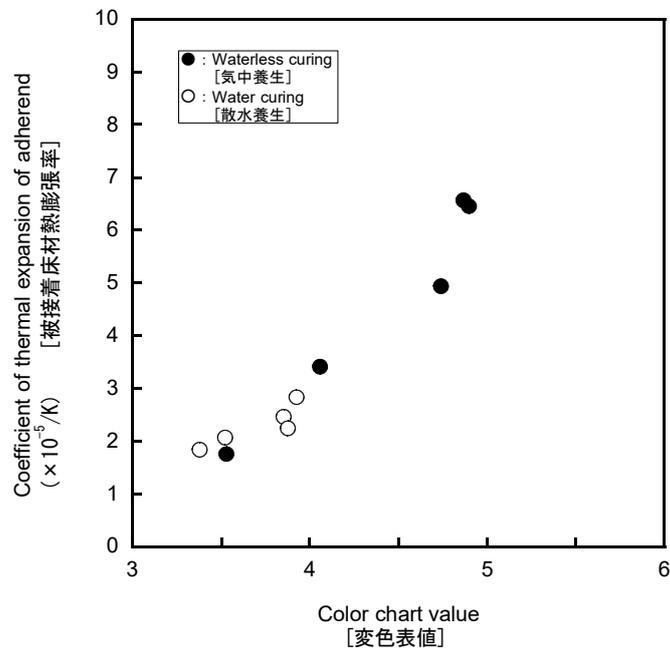


図5.10 被接着床材熱膨張率と変色表値の関係

5.4 本章の結論

養生条件の異なる2種のコンクリート床下地を用いて、張り床材の突き上げと下地からの放出水分量および水分計指示値の関係について実験的に検討した本章の結論をまとめると、以下のとおりである。

- ① 予備実験を実施し、張り床材の突き上げ発生確率を代替する不具合の指標として、被接着床材熱膨張率を適用可能であることを明らかにした。
- ② 放出水分量の測定方法として、周囲の湿気に反応して色に変化する乾燥度試験紙を用い、所定時間経過後の試験紙の色を標準変色表と照合する“乾燥度試験紙法”を適用した。また、試験紙の色を標準変色表と照合して得られる“変色表値”を、色彩・色差計により機械的に連続量として求める方法を考案した。
- ③ コンクリート打ち込み後の養生初期に下地表面に散水する“散水養生”と散水しない“気中養生”の2種の試験体を用い、変色表値、および水分計指示値の経時変化を測定、比較した。その結果、変色表値と水分計指示値の関係は2種の養生条件で大きく異なり、水分計指示値が同じでも放出水分量は散水養生の方が少ないことが明らかとなった。この理由の1つとして、散水養生では表層部が緻密になったため、水分の放出が抑制されたことが考えられる。
- ④ コンクリート床下地に貼り付けた床材の被接着床材熱膨張率と、床材施工時の下地の変色表値および水分計指示値の関係を検討した。その結果、被接着床材熱膨張率と水分計指示値の関係は下地の養生条件により異なるのに対し、被接着床材熱膨張率と変色表値は養生条件によらず一律に対応することが明らかとなった。すなわち、下地と床材の接着力不足に起因する不具合に直接的に影響しているのは、放出水分量であることが示唆された。

以上、本章の結果、床材施工時の下地の水分量の管理指標としての、放出水分量の適用性が明らかとなった。

第6章

床下地の上面仕上げ作業および養生が 放出水分量におよぼす影響の検討

第6章 床下地の上面仕上げ作業および養生が放出水分量におよぼす影響の検討

6.1 本章の目的

前章(5章)では、突き上げの指標である被接着床材熱膨張率と良い対応を示すのは、床下地表層部に含まれる水分の量を概略推定した指標である水分計指示値ではなく、床下地の表面から放出される放出水分量であることが明らかとなった。したがって、突き上げの発生を未然に防ぐためには、放出水分量を管理する必要がある。しかし、放出水分量に着目した研究例は非常に少なく、適切に管理するための知見が不足している状況にある。

本章では、放出水分量に関する知見を集積するための一環として、コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業の方法(以降“仕上げ条件”と記す)やその後の養生の方法(以降“養生条件”と記す)が放出水分量におよぼす影響について実験的に検討することを目的とする。

さらに、前章(5章)にて、限られた条件下での実験結果に基づいて提示した被接着床材熱膨張率と放出水分量の関係について、本章では、仕上げ条件および養生条件を多様にした実験を実施し、前章(5章)の結果を補完する。

6.2 実験の概要

6.2.1 試験体の作製および養生

図6.1に、試験体の概要を示す。試験体の大きさは、コンクリート打ち込み後に行う上面仕上げ作業が支障なく行えることや、熱膨張試験で必要となる表面積を確保することなどを考慮し、600×300mmとした。また、コンクリートの厚さは、75mmとした。表6.1に、試験体に用いたコンクリートの概要を示す。コンクリートは、床スラブに一般的に用いられる「普通30-18-20N」とした。

表6.2に、コンクリート打ち込み後の仕上げ条件の概要を示す。本研究では、横山ら¹²⁾が上面仕上げ作業担当者を対象に実施したヒアリング調査結果に基づき、表に示すとおり、木ごてによるむら直し、および金ごてによる押えの回数が異なる“仕上げⅠ”～“仕上げⅢ”の3種の条件を設定した。このうち、仕上げⅡは、現在の施工現場における一般的な条件と位置付けられるものである。

表6.3に、上面仕上げ作業後の養生条件の概要を示す。本章では、表に示すとおり、湿潤養生を行わない“気中”、表面に水を張る方法で湿潤養生を行う“冠水”、表面に湿布を設置する方法で湿潤養生を行う“湿布”の3種に、湿潤養生を行う期間3種(1日、3日、7日)を組み合わせ、計7種の養生条件を設定した。これらの条件は、施工管理担当者および上面仕上げ作業担当者を対象としたヒアリング結果などを参考に設定したものである。このうち、湿布は、下階への漏水などが懸念される冠水に代わり、近年採用例が増えている湿潤養生の方法として採用したものである。以降、例えば水を張る期間が1日の養生条件を“冠水1日”と記すこととする。ちなみに、前章(5章)における“散水養生”は、冠水3日に該当する。

変色表値および水分計指示値の経時変化の測定は、表6.2に示す3種の仕上げ条件と表6.3に示す7種の養生条件からなる21種の組み合わせで実施した。一方、被接着床材熱膨張率を測定するための熱膨張試験は、表6.4に●で示す9種の組み合わせで実施した。熱膨張試験は、水分計指示値が9.0, 7.0, 5.0(5.0は仕上げⅡ・気中のみ)となった時点で実施した。

以上述べた条件にしたがって、変色表値および水分計指示値の経時変化を測定するための試験体21体と、熱膨張試験を実施するための試験体19体、計40体の試験体を作製した。各試験体の養生は、上面仕上げ作業終了後、気温 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の実

験室で行った。

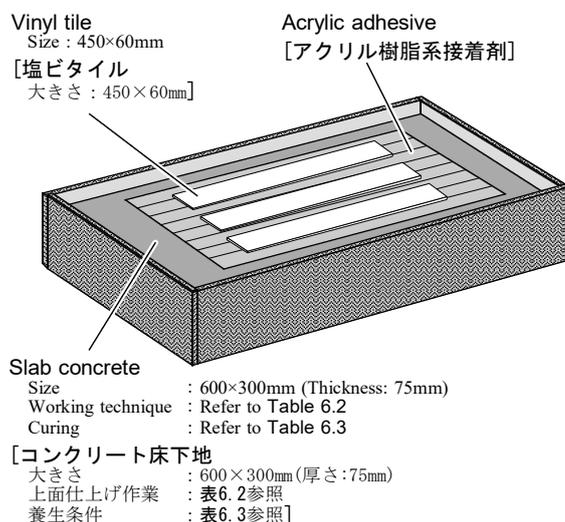


図6.1 試験体の概要

表6.1 コンクリートの概要

Binder type [セメント]	Water-to-binder ratio [水セメント比] (%)	Fine aggregate ratio [細骨材率] (%)	Water quantity [単位水量] (kg/m ³)	Admixture type [混和剤]
N	51	46	183	Ordinary plasticizer [AE減水剤]

表6.2 仕上げ条件の概要

	Smoothing [むら直し] (times)	Troweling [押え] (times)
Working I [仕上げⅠ]	1	1
Working II [仕上げⅡ]	1	2
Working III [仕上げⅢ]	2	3

表6.3 養生条件の概要

Name [名称]	Curing method [養生方法]	Curing period [湿潤養生期間] (day)
Waterless curing [気中]	Concrete surface was not cured by water. It was dried naturally in air after the finishing work. [表面を湿潤せず、上面仕上げ作業終了直後から気中で養生]	-
Fill water curing [冠水]	Concrete was cured for any days after 24 hours from the end of finishing work. Water was poured on the floor surface. After that, the surface water was wiped off, and the specimens cured in the air. [上面仕上げ作業終了24時間後から表面が冠水するように適宜散水し、湿潤養生期間終了後速やかに表面の水を拭き取り気中で養生]	1, 3, 7
Sheet curing [湿布]	Concrete was cured for any days after 24 hours from the end of finishing work. The surface was covered with a water retention sheet. After that, the sheet was removed from the surface, and the specimens cured in the air. [上面仕上げ作業終了24時間後から表面に保水した保湿シートを被せ、湿潤養生期間終了後速やかにシートを除去し気中で養生]	1, 3, 7

表6.4 熱膨張試験を実施した仕上げ条件と養生条件の組み合わせ

	Working I [仕上げⅠ]	Working II [仕上げⅡ]	Working III [仕上げⅢ]
Waterless curing [気中]		●	
Fill water curing 1 day [冠水1日]		●	
Fill water curing 3 day [冠水3日]	●	●	●
Fill water curing 7 day [冠水7日]		●	
Sheet curing 1 day [湿布1日]		●	
Sheet curing 3 day [湿布3日]		●	
Sheet curing 7 day [湿布7日]		●	

6.2.2 変色表値および水分計指示値の測定

変色表値は、5.3.1の(2)で述べた方法で測定した。

一方、水分計指示値は、高周波静電容量式水分計(ケット科学社製HI-520-2)を用いて測定した。

変色表値および水分計指示値の測定は、1試験体あたり3箇所を実施し、平均値を求めた。

6.2.3 張り床材の施工および熱膨張試験の実施

熱膨張試験を実施するための試験体について、水分計指示値が所定の値まで乾燥した時点で、以下の要領で熱膨張試験を実施した。

- 1) 試験体を温度5℃の実験室に移動し、長さ450mm、幅60mmに切断した床材、および接着剤とともに24時間養生する。
- 2) 養生後、同一の実験室にて床材を貼り付ける。
- 3) 床材を貼り付けた後、同一の実験室にて48時間養生する。
- 4) 養生後、床材の長さを精度0.01mmのノギスを用いて測定したうえで、温度30℃の実験室に試験体を移動する。
- 5) 移動9時間後に、床材の長さを測定し、被接着床材熱膨張率を算出する。

以上の試験方法は、5.3.1の(3)で述べた方法と同一である。ここで、床材および接着剤は、5章と同一の、塩化ビニル製複層タイル1種およびアクリル樹脂系1種とした。また、試験体に貼り付ける床材の数は、1試験体あたり3枚とし、被接着床材熱膨張率の平均値を求めた。

6.3 実験の結果・考察

6.3.1 仕上げ条件および養生条件が変色表値および水分計指示値におよぼす影響

(1) 仕上げ条件および養生条件が水分計指示値におよぼす影響

図6.2に、水分計指示値と、コンクリート打ち込み日を0とした場合の経過日数(以降“経過日数”と記す)の関係を、養生条件ごとに示す。図中、縦軸の「0.R.」は「Over Range」の略で、水分計の測定範囲を逸脱した量の水分が含まれていることを表す。

図より、水分計指示値は、いずれの養生条件でも、はじめは0.R.であり、一定期間経過後に水分計の測定範囲まで乾燥した後、日数の経過とともに減少していることがわかる。水分計指示値の減少の度合いは、はじめは急激だが徐々に緩やかになり、遅くとも28日程度以降は漸減となっている。水分計の測定範囲まで乾燥するのに要する日数は、気中が最も短く、冠水と湿布では湿潤養生期間が長いほど長くなっている。また、湿潤養生期間が同一の冠水と湿布を比較すると、冠水1日と湿布1日、および冠水3日と湿布3日は同程度であるのに対し、冠水7日は湿布7日より長くなっている。さらに、測定範囲まで乾燥した後の水分計指示値の序列は、経過日数が同一の場合、気中が最も小さく、つぎに湿布1日と冠水1日、続いて湿布3日と冠水3日、さらに湿布7日の順に大きくなり、冠水7日が最も大きくなっている。

このように、水分計指示値の経時変化は養生条件により大きく異なるのに対し、仕上げ条件の影響について比較すると、気中および冠水1日、冠水3日において、仕上げⅠの水分計指示値が仕上げⅡ、仕上げⅢよりわずかに小さくなっているものの、仕上げ条件による差がほとんどない養生条件もあり、全体的にみて明確な傾向はみられない。すなわち、仕上げ条件が水分計指示値におよぼす影響は、養生条件と比較して小さいとみなすことができる。

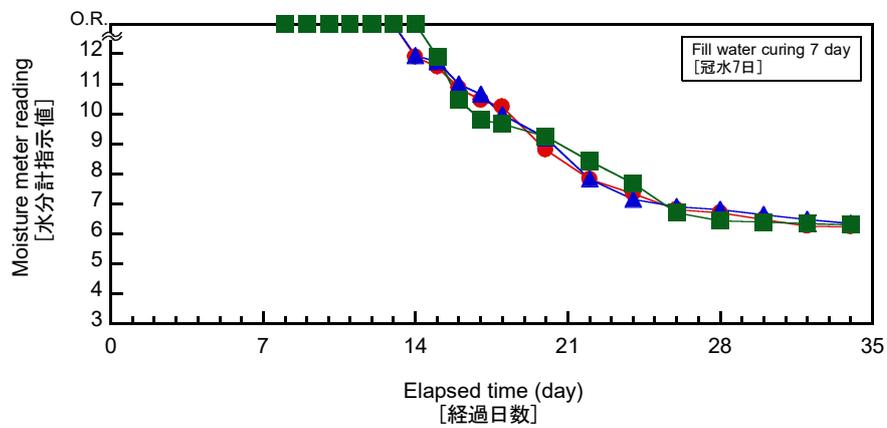
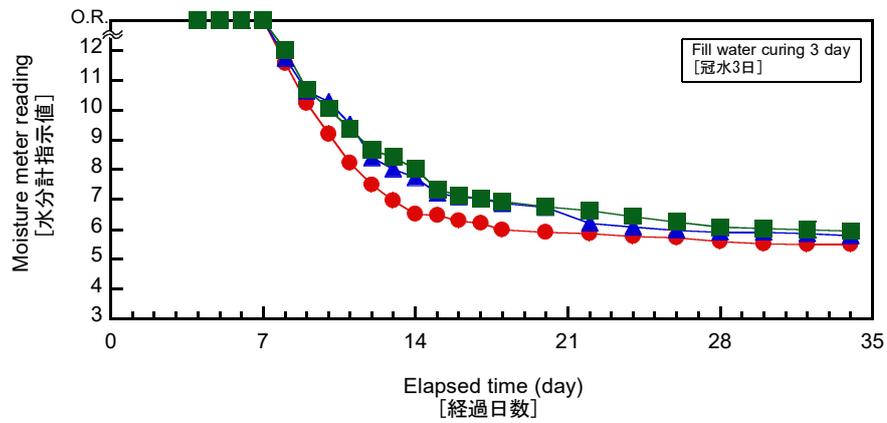
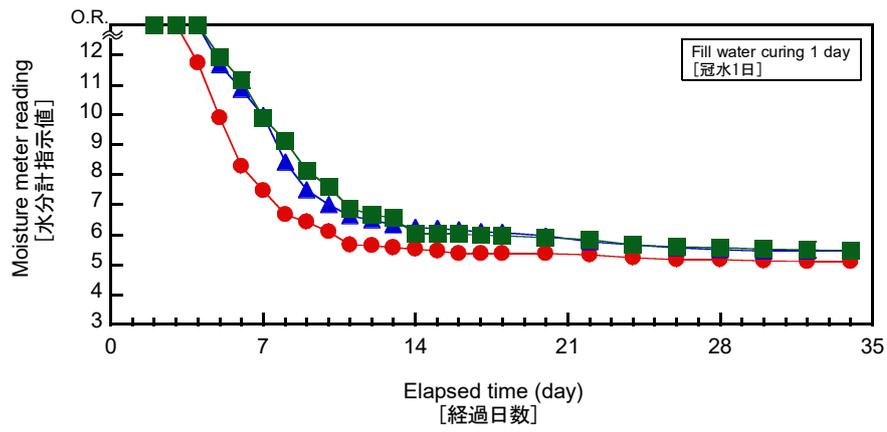
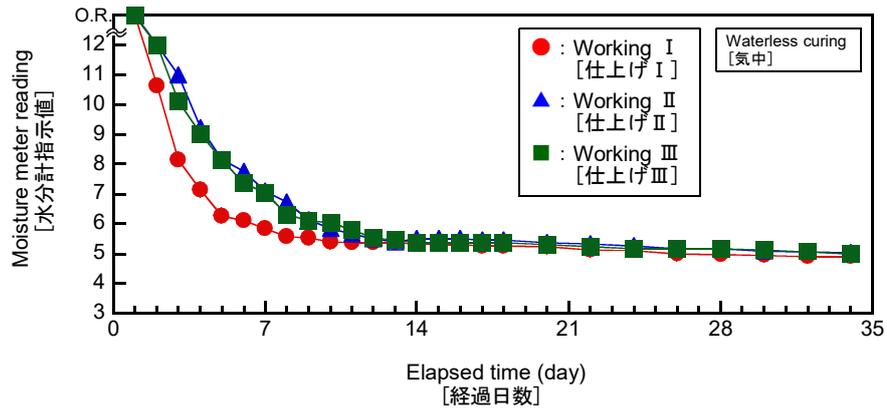


図6.3 水分計指示値の経時変化(1)

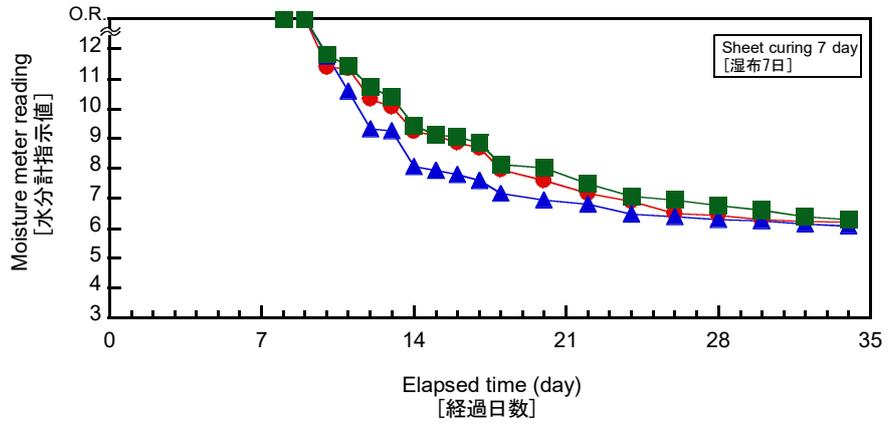
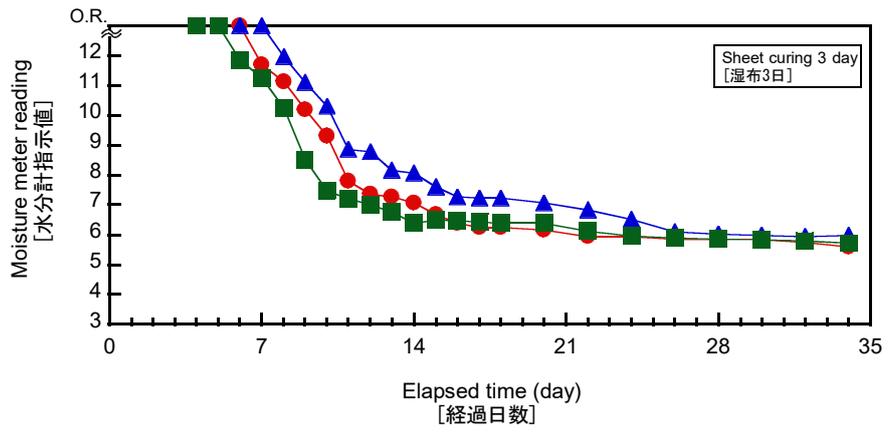
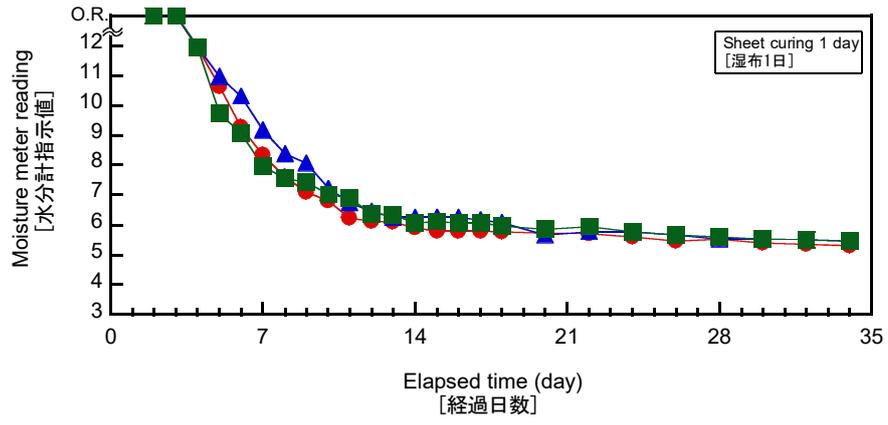


図6.3 水分計指示値の経時変化(2)

(2) 仕上げ条件および養生条件が変色表値におよぼす影響

図6.3に、変色表値と経過日数の関係を、養生条件ごとに示す。図より、変色表値は、気中では、経過日数1日の時点で8～9で、その後7日程度まで急激に減少し、以降は漸減となっていることがわかる。これに対し、冠水の場合、湿潤養生期間終了1日後の測定開始時点での変色表値は、同一の経過日数での気中の変色表値より大幅に小さく、その後一度増加した後、漸減となっている。この変色表値の特徴的な変遷は、前章(5章)でも確認された。変色表値の変遷を湿潤養生期間で比較すると、測定開始時点での変色表値は、冠水1日では4～5であるのに対し、冠水3日、冠水7日では3程度と小さくなっている。また、漸減となるのに要する経過日数は、湿潤養生期間が長いほど長くなっている。漸減となって以降の変色表値は、いずれの湿潤養生期間でも、同一の経過日数での気中よりわずかに小さくなっている。

湿布の場合、測定開始時点での変色表値は、同一の経過日数での気中の変色表値より小さく、湿潤養生期間が同一の冠水の変色表値より大きくなっている。また、その後も変色表値は気中と冠水との間で推移し、湿布1日の場合経過日数8日前後で冠水1日と同程度、湿布3日の場合経過日数10日前後で冠水3日と同程度、湿布7日の場合経過日数20日前後で冠水7日と同程度となり、以降冠水と同様の変遷を示している。

つぎに、養生条件ごとに仕上げ条件の影響について比較すると、冠水1日、湿布1日、湿布3日および湿布7日において、測定開始時点から数日の間仕上げ条件による差がみられるものの、差がほとんどない養生条件もあり、全体的にみて明確な傾向はみられない。すなわち、仕上げ条件が変色表値におよぼす影響は、養生条件と比較して小さいとみなすことができる。

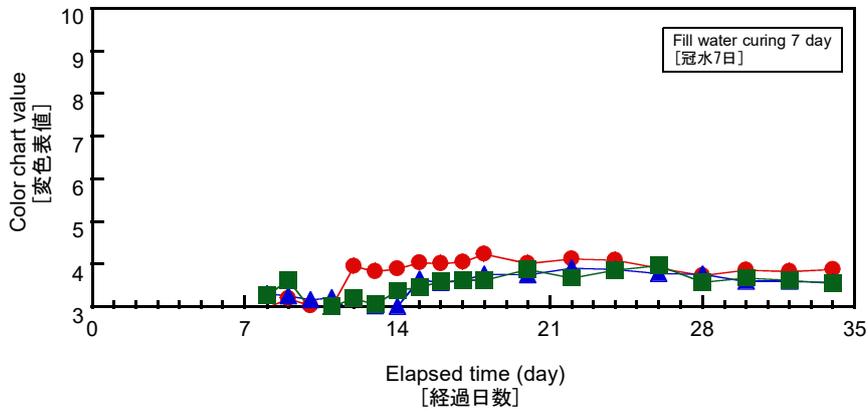
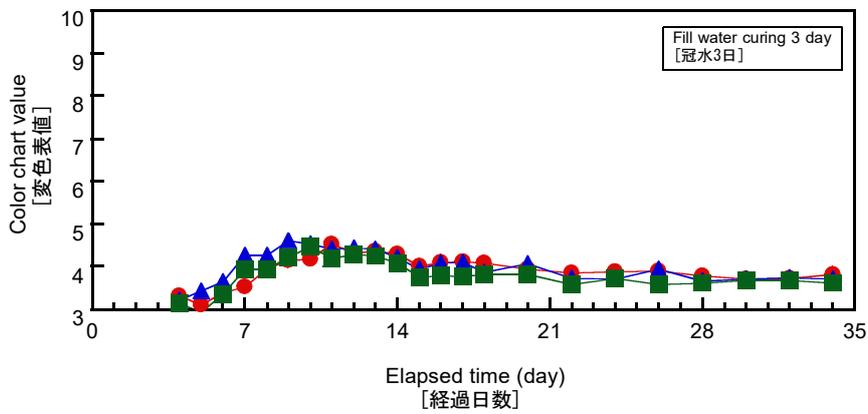
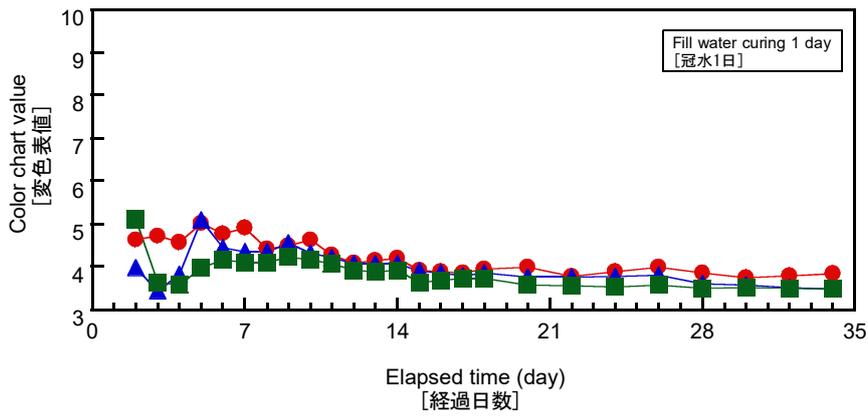
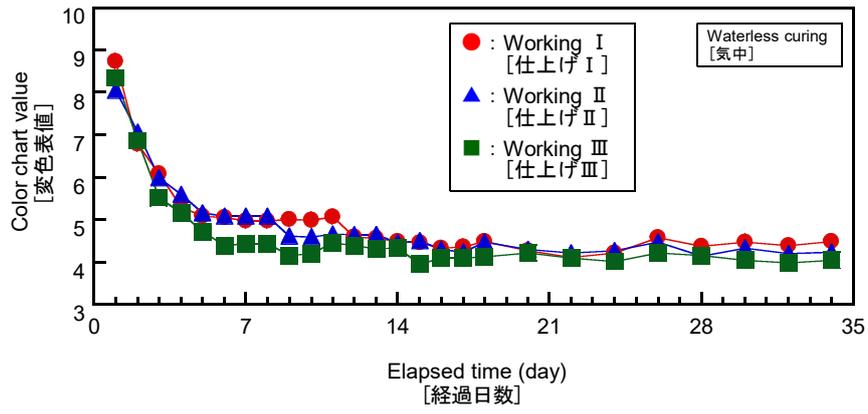


図6.4 変色表値の経時変化(1)

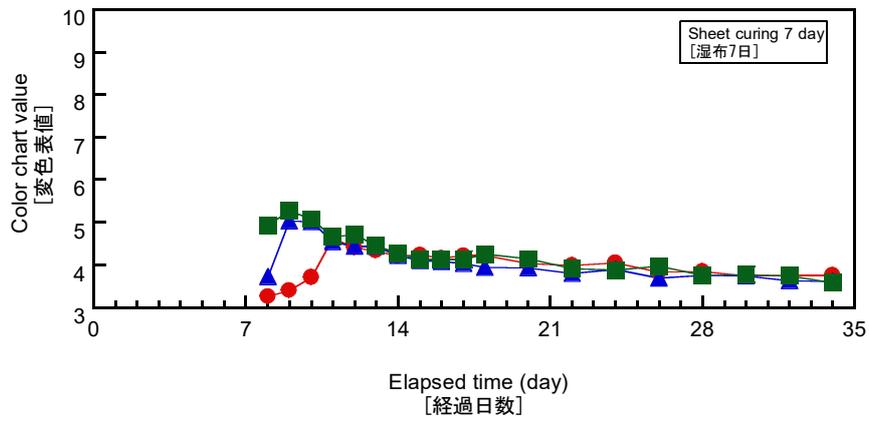
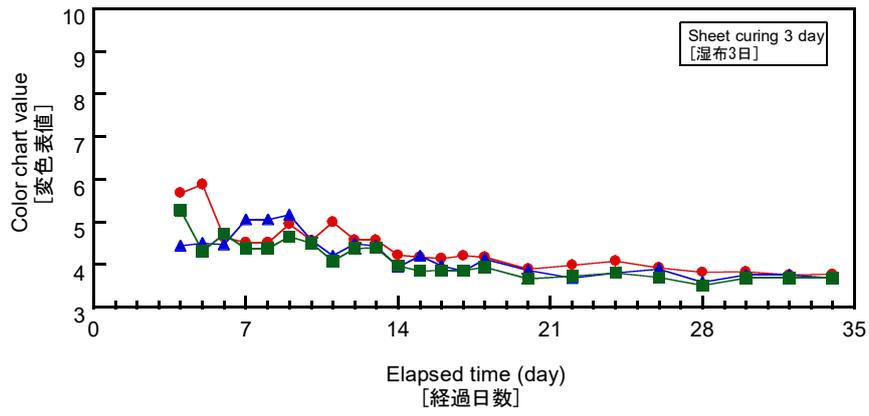
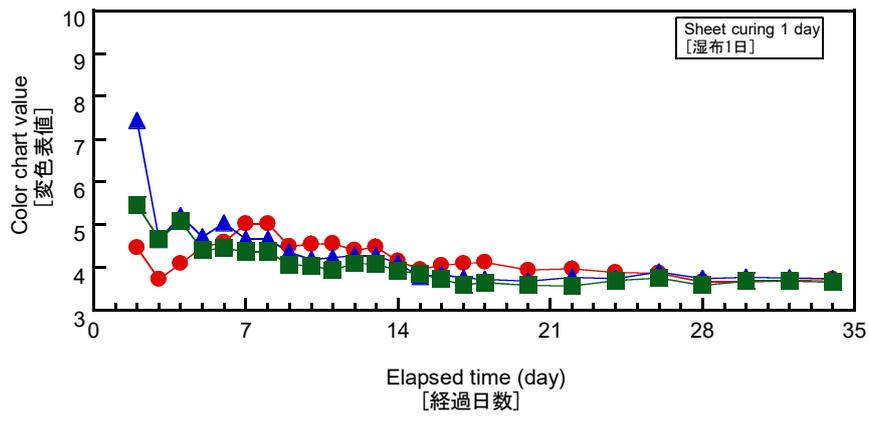


図6.4 変色表値の経時変化(2)

(3) 仕上げ条件および養生条件が変色表値と水分計指示値の関係におよぼす影響

図6.4に、変色表値と水分計指示値の関係を、養生条件ごとに示す。図より、気中では、水分計指示値が12程度から5程度まで減少するにしたがって変色表値が7程度から4程度まで減少している。これに対し、冠水の場合、水分計指示値が12程度から8程度の範囲では、変色表値は冠水1日では4～5、冠水3日では4程度、冠水7日では3～4で大きくは変化していない。また、水分計指示値が8程度より小さい範囲では、水分計指示値の減少にしたがって変色表値は漸減している。

湿布の場合、変色表値は、水分計指示値が減少するにしたがって減少している。変色表値を気中および湿潤養生期間が同一の冠水と比較すると、水分計指示値が12程度から8程度の範囲では気中より小さく冠水よりわずかに大きくなっている。また、水分計指示値が8程度より小さい範囲では、冠水と同程度となっている。

つぎに、養生条件ごとに仕上げ条件の影響について比較すると、図6.2, 6.3同様、全体的にみて明確な傾向はみられず、仕上げ条件が変色表値と水分計指示値の関係におよぼす影響は、養生条件と比較して小さいとみなすことができる。ただし、気中では、他の養生条件と比較して仕上げ条件による差がやや大きく、同一の水分計指示値と対応する変色表値は、仕上げⅠが最も大きく、仕上げⅡ, 仕上げⅢの順に小さくなっている。

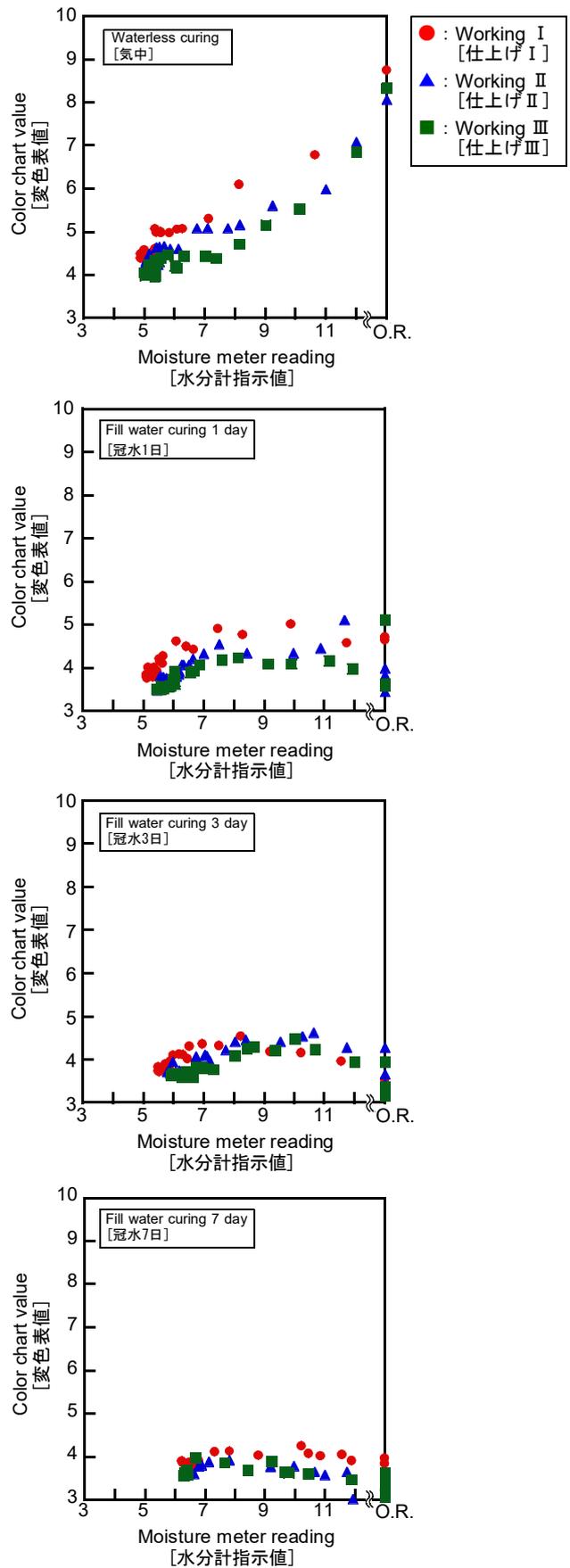


図6.5 変色表値と水分計指示値の関係(1)

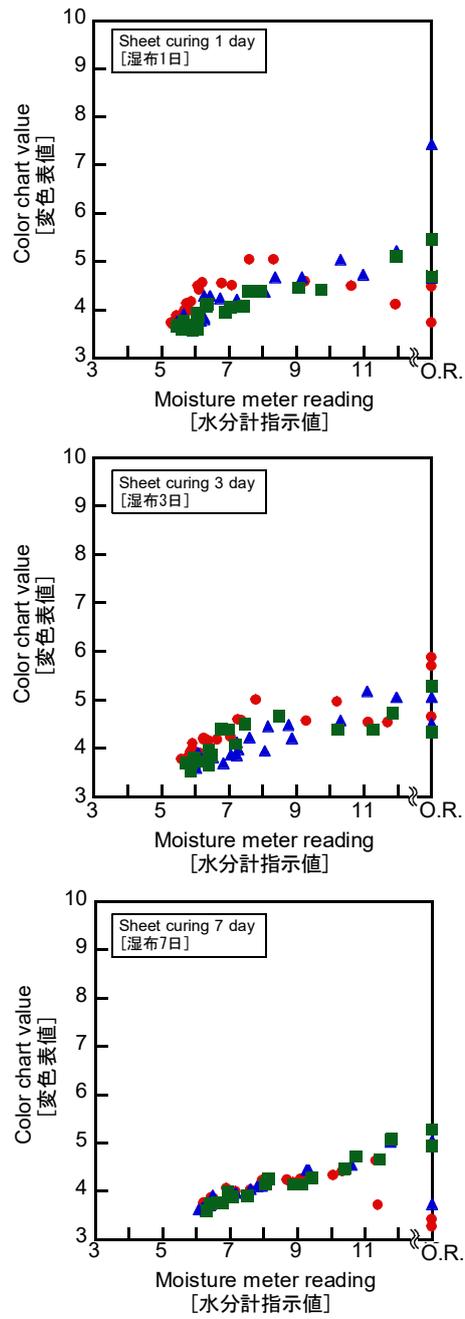


図6.5 変色表値と水分計指示値の関係(2)

(4) 気中養生と冠水養生および湿布養生の比較

(1)～(3)の結果をふまえ、湿潤養生を行うことが変色表値および水分計指示値におよぼす影響をより明確に把握する目的で、気中と冠水、湿布の結果を直接比較することとした。図6.5に、例として、一般的な仕上げ条件である仕上げⅡ、および本研究における中庸な湿潤養生期間である3日を対象に、気中と冠水3日、湿布3日での変色表値および水分計指示値の経時変化を比較した結果を示す。図より、同一の経過日数での水分計指示値は気中より冠水、湿布の方が大きいのに対し、変色表値は気中より冠水、湿布の方が小さいこと、すなわち、床下地表層部に含まれる水分の量は多いが放出水分量は少ないことが、あらためて確認できる。これは、湿潤養生を行うことにより、表層部が緻密になり、水分の放出が抑制されたことによるものと思われる^{16), 17)}。また、冠水3日と湿布3日の変色表値は、冠水3日の変色表値が一度増加後漸減となつてからは、ほぼ同じ値となっている。なお、他の仕上げ条件、湿潤養生期間でも、同様の結果が得られた。

つぎに、図6.6に、変色表値と水分計指示値の関係を、仕上げ条件および湿潤養生期間ごとに示す。図中、気中の結果は仕上げ条件ごとに共通している。図より、いずれの仕上げ条件、湿潤養生期間でも、同一の水分計指示値と対応する変色表値は気中より冠水、湿布の方が小さいこと、すなわち、床下地表層部に含まれる水分の量は同程度でも放出水分量は少ないことが、あらためて確認できる。また、冠水と湿布を比較すると、(3)で述べたとおり、水分計指示値が12程度から8程度の範囲では冠水より湿布の方が大きく、水分計指示値が8程度より小さい範囲では同程度となる傾向がみられる。

以上より、湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と比較して、水分計指示値の減少は遅くなるものの、変色表値はわずかに小さい値で変遷するため、同一の水分計指示値と対応する変色表値は小さくなることが明らかとなった。また逆に、同一の変色表値と対応する水分計指示値は、湿潤養生を行った床下地の方が大きい。したがって、湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と同程度まで水分計指示値が減少するのを待たなくても、変色表値は同程度の値まで減少することが明らかとなった。

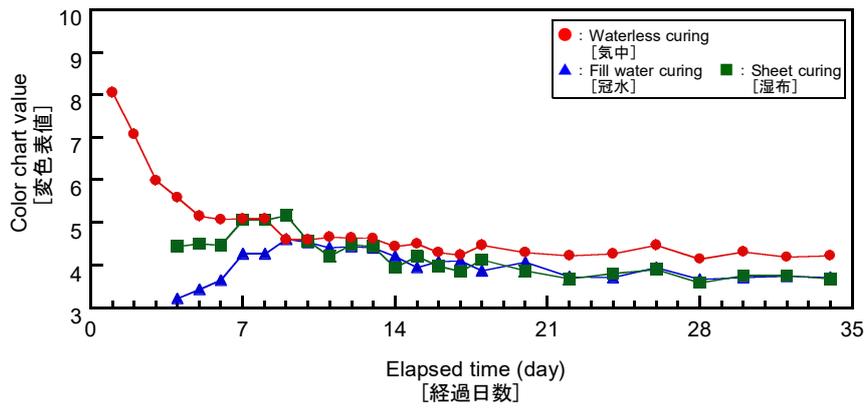
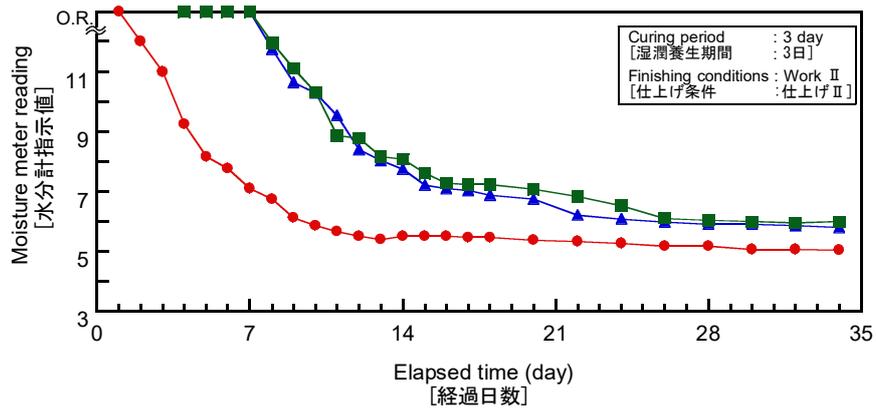


図6.5 変色表値と水分計指示値の経時変化の養生条件による比較例

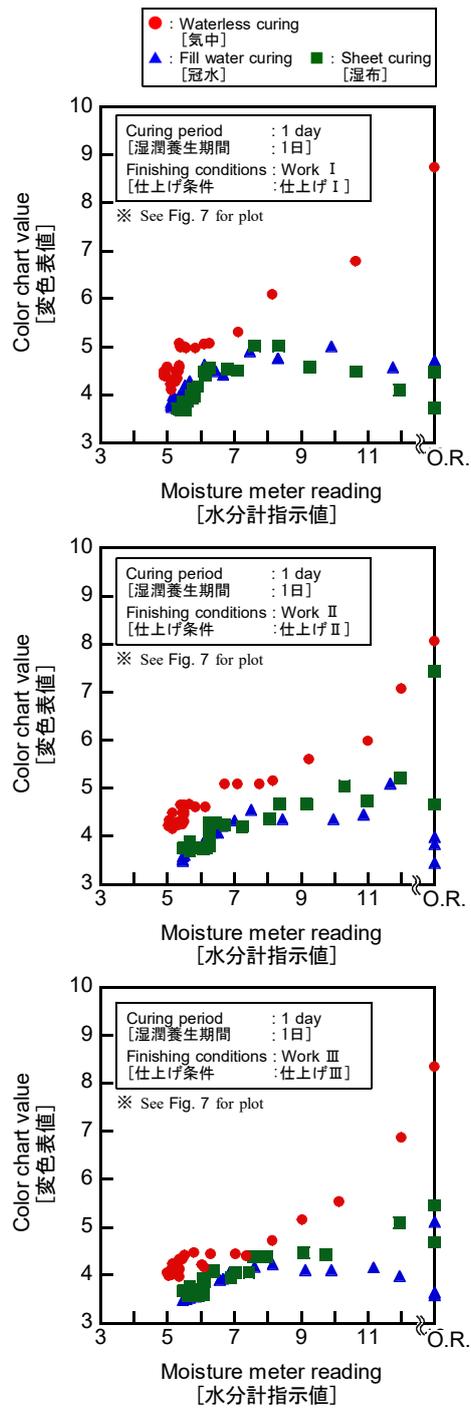


図6.7 変色表値と水分計指示値の関係の養生条件による比較(1)

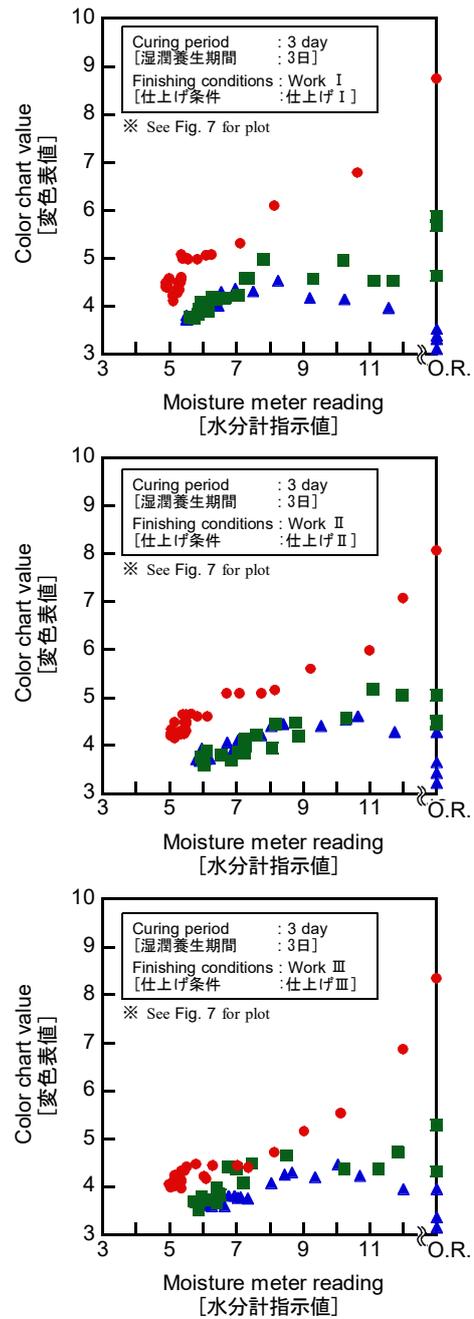


図6.7 変色表値と水分計指示値の関係の養生条件による比較(2)

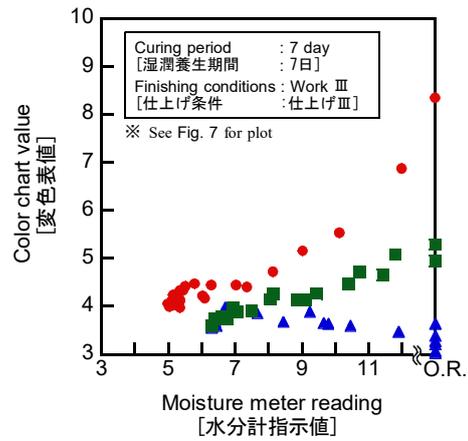
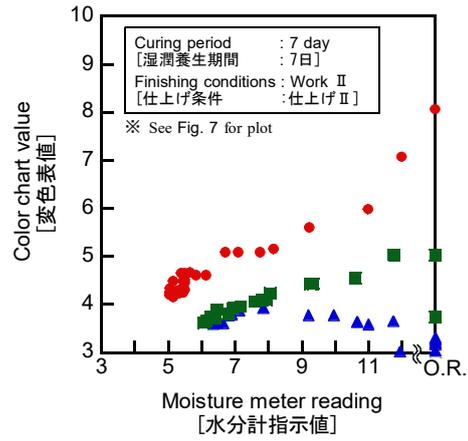
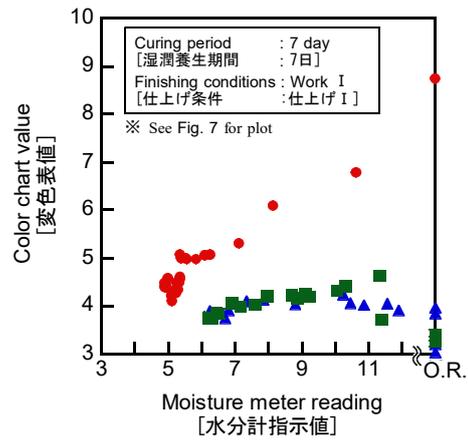


図6.7 変色表値と水分計指示値の関係の養生条件による比較(3)

6.3.2 被接着床材熱膨張率と変色表値および水分計指示値の関係

図6.7に、熱膨張試験の結果得られた被接着床材熱膨張率と、水分計指示値の関係を示す。図中、横軸の水分計指示値は、6.2.3で述べた熱膨張試験の手順のうち、1)の試験体を温度5°Cの実験室に移動する直前に測定したものである。図中の記号のうち、●, ○は前章(5章)の結果を再掲したもので、▲, △, ▲は本研究で新たに得られた結果を表す。また、●, ▲は湿潤養生を行っていない試験体による点、○, △, ▲は行った試験体による点を表す。図より、水分計指示値が同じでも、養生条件が異なれば被接着床材熱膨張率は大きく異なり、水分計指示値のみでは被接着床材熱膨張率は予測できないことがわかる。また、水分計指示値9.0でも7.0でも、○, △, ▲で示した点が●, ▲で示した点より下側にプロットされる傾向がみられることから、湿潤養生を行った場合、水分計指示値が同じでも、行っていない場合より被接着床材熱膨張率が小さくなる傾向が明確に把握できる。以上の結果は、5章の結果と一致する。

図6.8に、被接着床材熱膨張率と変色表値の関係を示す。図中、横軸の変色表値は、図6.7の水分計指示値と同一の時点で測定したものである。また、図中の記号は図6.7と同じで、●, ○は前章(5章)の結果を再掲したものである。図より、●, ○で示した点の間に▲, △, ▲で示した点がプロットされており、本章の結果で前章(5章)の結果を補完できていることがわかる。また、すべての点が同一の対応を示していることから、変色表値で被接着床材熱膨張率を、仕上げ条件および養生条件のいかんにかかわらず、一律に予測できることがわかる。

以上より、床下地と床材の接着力不足に起因する不具合に直接的に影響しているのは放出水分量であり、床材施工時の床下地の水分量は変色表値で管理するのが適当であることが再確認された。

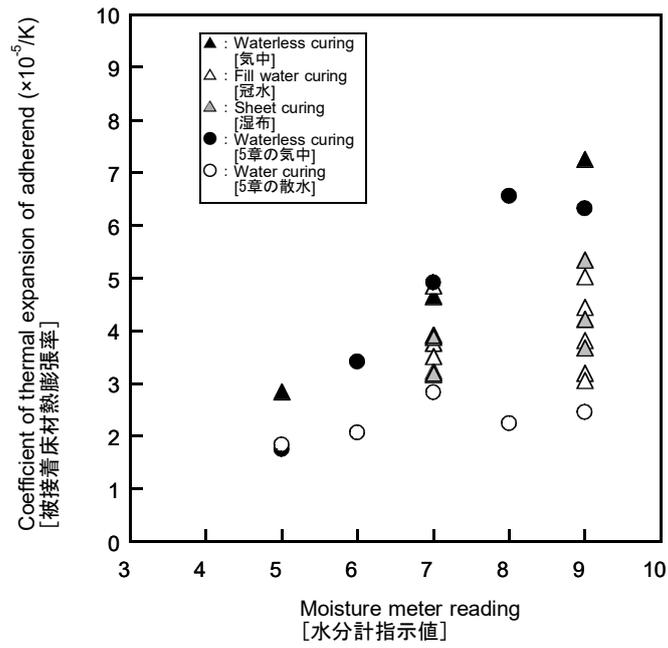


図6.7 被接着床材熱膨張率と水分計指示値の関係

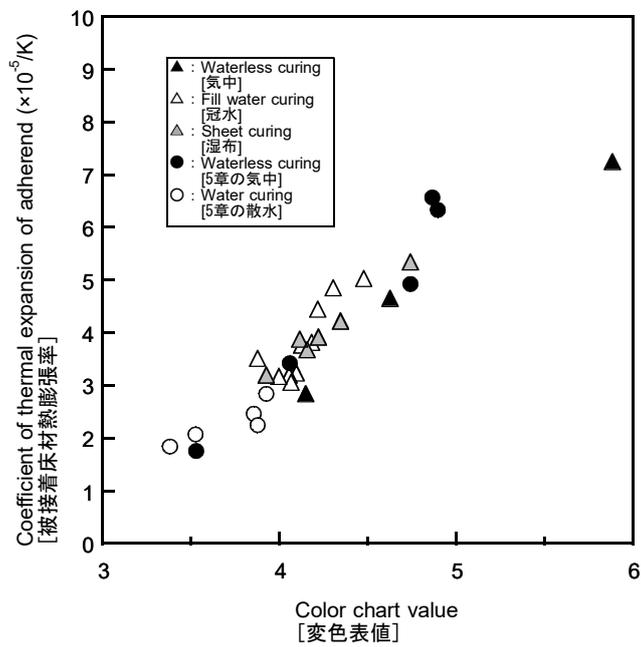


図6.8 被接着床材熱膨張率と変色表値の関係

6.4 本章の結論

コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業およびその後の養生が、床下地の放出水分量および水分計指示値におよぼす影響を把握するとともに、前章(5章)で得られた被接着床材熱膨張率と放出水分量の関係を、仕上げ条件および養生条件を多様にした実験結果に基づいて補完することを目的とした本章の結論をまとめると、以下のとおりである。

- ① 湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と比較して、水分計指示値の減少は遅くなるものの、変色表値はわずかに小さい値で変遷する。このため、水分計指示値が同一の場合、変色表値は、湿潤養生を行った床下地の方が小さくなる。また逆に、同一の変色表値と対応する水分計指示値は、湿潤養生を行った床下地の方が大きい。したがって、湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と同程度まで水分計指示値が減少するのを待たなくても、変色表値は同程度の値まで減少する。
- ② 被接着床材熱膨張率と水分計指示値の関係は、湿潤養生を行った床下地と行っていない床下地とで大きく異なるのに対し、被接着床材熱膨張率と変色表値の関係は、仕上げ条件および養生条件のいかんにかかわらず、一律により対応を示す。すなわち、床下地と床材の接着力不足に起因する不具合に直接的に影響しているのは、床下地表層部に含まれる水分の量ではなく、床下地からの放出水分量であり、床材施工時の床下地の水分量は変色表値で管理するのが適当であることが再確認された。

一般に、湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と比較して、水分計指示値が同程度まで減少するのに長い時間を要することが、工期短縮の観点からの懸念事項の1つとなっていた。しかし、上記2点の結論を総合すると、湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と同程度まで水分計指示値が減少するのを待たなくても、放出水分量は抑えられているため、床材との接着力不足に起因する不具合の発生は防げると考えられる。

第7章

結論

第7章 結論

本研究は、張り床材の突き上げ防止からみたコンクリート床下地の水分量の管理法について検討を行った。本研究の結論を、以下のとおり示す。

- ① **第2章**では、張り床材の接着力と床下地表層部の水分量の関係について検討を行った。検討の結果、床下地と張り床材の接着力には、床下地表層部だけでなく内部の水分量も影響するため、水分計指示値だけで水分量を管理するのは危険であることが明らかとなった。また、引張接着強さ試験や90度剥離接着強さ試験などの接着力に関する物性試験では、不具合の発生を予測するのは困難であり、実際の不具合の発生状況を模擬した性能試験方法を開発する必要があることを述べた。
- ② **第3章**では、実際に張り床材に発生している不具合の調査結果に基づいて、本研究で対象とする不具合として張り床材の“突き上げ”を選定し、実際に突き上げが発生する状況を模擬した性能試験方法を開発した。また、性能試験の結果得られる突き上げ発生確率と、床下地の水分量との関係を検討した。検討の結果、水分計指示値が5.0未満では突き上げの発生確率が低下する一方で、指示値5.0を超えると発生確率が大きく増加する傾向がみられた。すなわち、型枠、上面仕上げ作業の方法、養生の方法などが同一であれば、水分計指示値が突き上げ発生確率と良い対応を示すことが明らかとなった。
- ③ **第4章**では、床下地内の水分の挙動や不均一性に大きく影響すると考えられる養生条件が、張り床材の突き上げと床下地表層部の水分量の関係におよぼす影響について検討した。検討の結果、水分計指示値の経時変化は湿潤養生を施した試験体とそうでない試験体とで大きく異なる傾向が示された。具体的には、同一の経過日数において湿潤養生を施していない気中養生より施した散水養生の方が水分計指示値は高くなることが示された。また、突き上げの発生確率が低下する閾値も、気中養生では指示値5.0程度なのに対し、散水養生では指示値7.0であった。この結果は養生方法や期間を考慮せずに一律に水分計指示値のみを管理指標として用いることは困難であることを示している。
- ④ **第5章**では、予備実験を実施し、張り床材に発生する突き上げと被接着床材熱膨張率の関係を検討した。予備実験の結果、突き上げ発生確率と被接着床材熱膨張

率は非常に良い対応を示し、突き上げ発生確率を代替する不具合の指標として、被接着床材熱膨張率を適用可能であることを明らかにした。また、本実験では、放出水分量の測定方法として、乾燥度試験紙法を適用し、得られる変色表値を放出水分量の指標として設定した。張り床材の被接着床材熱膨張率と床下地の放出水分量および水分計指示値の関係を検討した結果、水分計指示値との関係は、養生条件により異なるのに対し、変色表値との関係は、養生条件によらず一律に対応することが明らかとなった。この結果から、床下地と床材の接着力不足に起因する不具合に直接的に影響するのは、放出水分量であることが示唆された。

- ⑤ **第6章**では、放出水分量に関する知見を集積することを目的とし、仕上げ条件と養生条件が放出水分量におよぼす影響について検討を行った。また、前章(**5章**)で得られた被接着床材熱膨張率と放出水分量の関係を、仕上げ条件および養生条件を多様とした結果に基づいて補完することを目的とした検討も合わせて行った。検討の結果、湿潤養生を行った床下地では、行っていない床下地と同程度まで水分計指示値が減少するのを待たなくても、変色表値は同程度の値まで減少することが明らかとなった。また、被接着床材熱膨張率と変色表値の関係は、仕上げ条件および養生条件のいかんにかかわらず、一律に良い対応を示し、床材施工時の床下地の水分量は変色表値で管理するのが適当であることが再確認された。

本研究の結論は以上であるが、**3章**で示したように張り床材には突き上げ以外にも様々な不具合が発生している。それらの原因として、床下地の水分による接着力低下があげられることも多い。今後は、対象とする不具合の範囲を広げ放出水分量が他の不具合防止からみた管理方法としても適用可能かを検討する予定である。

参考文献

参考文献

- 1) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇 : 埋め込みセラミックセンサの電気的特性によるコンクリートの含水率測定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第498号, pp. 13-20, 1997. 8
- 2) 杓掛文夫, 湯浅 昇, 美岬町雅弘, 結城英恭 : 押し当て高周波容量式水分計の表示値の意味に関する実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 1233-1234, 2013. 8
- 3) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇 : 乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率, 細孔構造の不均質性, 日本建築学会構造系論文集, 第509号, pp. 9-16, 1998. 7
- 4) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇, 逸見義男, 佐藤弘和 : 仕上げ材を施すコンクリート床スラブの含水率, 細孔構造, 日本建築学会構造系論文集, 第504号, pp. 7-13, 1998. 2
- 5) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇, 逸見義男, 佐藤弘和 : 乾燥度試験紙によるコンクリートの水分状態の評価, 日本建築仕上学会論文報告集, Vol. 5, No. 1, pp. 1-6, 1997. 10
- 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) 日本床施工技術研究協議会 : 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, 2003. 12制定, 2014. 8改訂
- 8) 横山 裕, 杉浦友則, 竹本喜昭, 高橋宏樹 : 試験装置の設計, 試作および妥当性の検討 電動ベッドによる引きずり荷重に対する張り床の耐動荷重性の評価方法 その1, 日本建築学会構造系論文集, 第80巻, 第709号, pp. 369-377, 2015. 3
- 9) 横山 裕, 藤井宏孝, 横井 健, 福田真太郎, 藤井佑太郎, 竹本喜昭 : コンクリート床下地の水分量が引きずり荷重による張り床のふくれにおよぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第81巻, 第724号, pp. 929-935, 2016. 6
- 10) 内田昌宏, 田中享二 : エポキシ樹脂塗り床と下地セメントモルタルとの付着強さの評価, 吸着的付着力と機械的付着力の統一的評価, 日本建築学会構造系論文

- 集, 第540号, pp. 19-25, 2001. 2
- 11) 垣内 弘 編著: 新エポキシ樹脂, 昭晃堂, pp. 18-28, 1985. 5
 - 12) 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
 - 13) 林 拓真, 藤井佑太郎, 福田眞太郎, 横井 健, 横山 裕: 張り床の耐ふくれ性の試験方法に関する基礎的研究 その1 実験概要および実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1055-1056, 2018.9
 - 14) 藤井佑太郎, 林 拓真, 福田眞太郎, 横井 健, 横山 裕: 張り床の耐ふくれ性の試験方法に関する基礎的研究 その2 試験方法の標準化に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1057-1058, 2018.9
 - 15) 林 拓真, 藤井佑太郎, 福田眞太郎, 横井 健, 横山 裕: 張り床の耐ふくれ性の試験方法に関する基礎的研究, その3 ふくれ発生回数に基づく検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 849-850, 2019.9
 - 16) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇, 大川原修: 乾燥条件が微小セメントペーストの水和、細孔構造及び強度に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第505号, pp. 15-21, 1998.3
 - 17) Yutaka Yokoyama, Takeshi Yokoi, Jun-ichi Ihara: The effects of pore size distribution and working techniques on the absorption and water content of concrete floor slab surfaces, *Construction and Building Materials*, Vol.50, pp.560-566, Jan. 2014