

論文 各種表面仕上材を施したコンクリート表層の温度推定に関する基礎的検討

長谷川拓哉*1 大久保孝昭*2 井戸川純子*3 千歩修*4

要旨：各種表面仕上材を施したコンクリート試験体を茨城県つくば市に自然暴露し，試験体温度と各種気象因子の実測を行い，実環境におけるコンクリート表層内部の温度変化に影響する各種要因の検討を行うとともに，コンクリート表層内部の温度推定に関する基礎的検討を行った。その結果，コンクリート内部温度は表面の仕上材の影響をうけること，塗材系仕上材を施したコンクリート内部温度は，夏季では色の影響が大きいこと等の知見が得られた。

キーワード：仕上材, 気象因子, 温度推定, 屋外暴露

1. はじめに

近年，品確法をはじめとして建築物のユーザー保護の施策が展開されているが，建築物の耐久性について，ユーザーニーズに応じた性能を実現する仕様を選定する技術は，未だ確立されていないのが現状である。著者らは，平成13年度より「目的指向型耐久設計手法の開発」のテーマの下，ユーザーニーズに応じた適切な耐久性を有する仕様を選定する手法のプロトタイプの開発に関する研究に取り組んでいる。¹⁾²⁾³⁾

適切な耐久性を有する仕様を選定するためには，仕様の相互比較が可能な標準的な試験法の確立が必要である。しかし，耐久性に関する試験法は，必ずしも標準的なものが確立されていない。ここにいう試験は，その材料・部材等が，どのような性能を持っているかを確認する試験（「基本試験」と呼称）と，それらの材料・部材等を劣化させる試験（「劣化試験」と呼称）とで構成される。すなわち，建築部材のモデル試験体を「劣化試験」により促進劣化させ，「基本試験」により部材の品質・性能低下の割合を評価することを想定している。

このうち，劣化試験，とりわけ促進劣化試験において，どのような劣化外力を与えるかは大

きな課題であり，気象因子等の地域・環境条件を考慮し，異なる地域・環境条件で，異なる仕様を比較できるような劣化外力の設定方法の確立が必要である。²⁾

本実験は，その基礎的な検討の一環として，各種仕上材を表面にもつコンクリート試験体を，茨城県つくば市の建築研究所に屋外暴露し，気象因子並びに試験体の温度等の基本的なデータを収集し，劣化外力についての検討を行うことを目的としている。本報では，促進劣化試験に応用できるように，実環境におけるコンクリート表層内部の温度変化に影響する各種要因とともにコンクリート表層内部の温度推定に関する基礎的検討を行った結果を報告する。

2. 実験の概要

実験は，図1に示すようなコンクリート試験体を茨城県つくば市に位置する建築研究所において屋外暴露し，試験体の表面温度と内部温度等の測定を行っている。実験の条件を表1に示す。コンクリート表層の温度変化に影響すると考えられる条件として，コンクリート，仕上材の種類及び品質，試験体の大きさ・厚さの条件，断熱条件，含水状態等が考えられるが，今回の

*1 独立行政法人建築研究所材料研究グループ	工修	(正会員)
*2 独立行政法人建築研究所材料研究グループ	工博	(正会員)
*3 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部	博士 (工学)	
*4 北海道大学大学院工学研究科助教授	工博	(正会員)

実験では、コンクリート下地の品質（2種類）、仕上材の種類（8種類）、断熱条件（2種類）、試験体の厚さ（2種類）をとりあげている。試験面以外には断熱材を取付け、熱を逃げないようにした試験体を地上約50cmの架台上に水平に静置し、熱電対を図1に示す位置に取付け、自動制御のデータロガーに接続して温度を測定

している。測定は10分毎に行い、データロガーよりパーソナルコンピュータに取り込み記録している。屋外暴露試験の様子を写真1に示す。

本試験に用いたコンクリートの調合、各種性状及び使用材料を表2に示す。コンクリートはレディーミクストコンクリートを使用し、発注した調合のコンクリートを打設した後、品質の

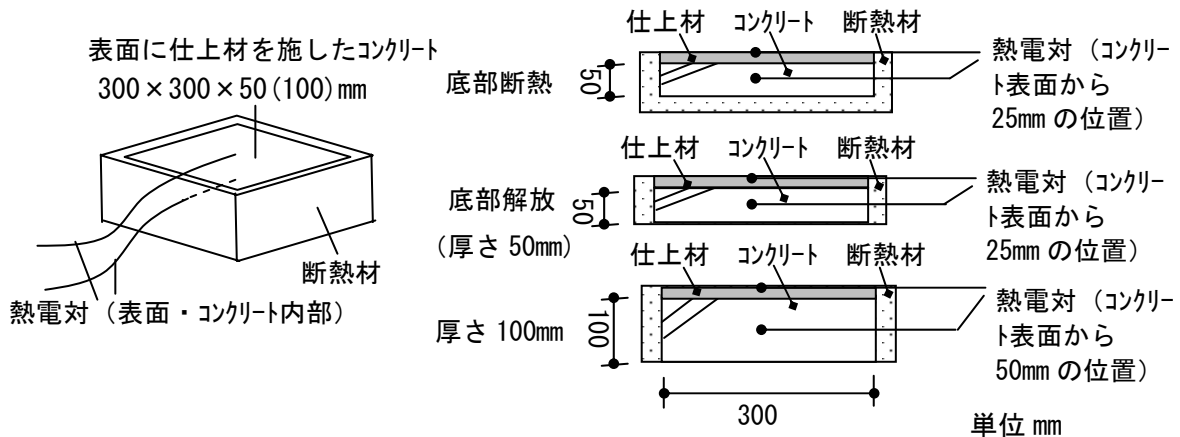


図1 試験体概要

表1 実験の条件

下地コンクリートの条件:	2種類(調合通りのもの(W/C:56.5)、加水したもの(W/C:59.5))
仕上材の条件:	8種類(薄塗E、厚塗E、複層RE-2U、複層RE-水系、軽量モルタル、珪砂モルタル、タイル、仕上材無し)
断熱条件*1:	2種類(底部断熱*2、底部解放)
試験体厚さの条件:	2種類(50mm*3、100mm)
*1	厚さ50mmの試験体を使用
*2	30mmの発泡ポリスチレンフォームを用いて断熱
*3	試験体は断熱条件の底部解放と兼用

表2 コンクリートの調合、各種性状及び使用材料

調合種類	W/C (%)	S/A (%)	単位重量(kg/m ³)				空気量 (%)	スランブ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)
			水	セメント	細骨材	粗骨材			
発注した調合	56.5	48.2	178	316	851	948	4.8	18.5	29.3
加水したもの	59.5	48.2	178+10	316	851	948	4.5	21.5	28.2

・混和剤はAE減水剤(標準形)をC×0.1%を使用
 ・セメントは普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)、骨材は粗骨材が筑波・新治産砕石(密度2.65g/cm³)で、細骨材は霞ヶ浦・行方産中目砂(2.59g/cm³)と筑波産・新治産砕砂(2.65g/cm³)を7:3で混合使用

表3 使用した仕上材の種類及び概要

仕上材名称	本論文中の略称	備考
外装合成樹脂エマルジョン系薄付け仕上げ塗材仕上げ	薄塗E	白色、透湿量*4:1.83g/m ² ・week
外装合成樹脂エマルジョン系厚付け仕上げ塗材仕上げ	厚塗E	白色、透湿量*4:1.43g/m ² ・week
反応硬化形成樹脂目エマルジョン系複層仕上げ塗材仕上げ(トップコート:2液ウレタン)	複層RE-2U	白色、透湿量*4:1.23g/m ² ・week
反応硬化形成樹脂目エマルジョン系複層仕上げ塗材仕上げ(トップコート:水系)	複層RE-水系	白色、透湿量*4:0.76g/m ² ・week
軽量モルタル*1	軽量モルタル	厚さ:15mm(下塗り8mm+上塗り7mm)
普通モルタル*2	モルタル	厚さ:15mm(下塗り8mm+上塗り7mm)
タイル(50角磁器質タイル・白色)*3	タイル	厚さ:20mm(下塗り8mm+上塗り7mm+タイル5mm)

*1 既調合軽量モルタル(普通ポルトランドセメント25kg:骨材10kg:水9kg+専用混和剤)
 *2 珪砂モルタル(普通ポルトランドセメント6.2kg:骨材(珪砂4.5号:6.7kg、遠州珪砂:12kg):水3.45kg+混和剤)
 *3 珪砂モルタルの上に直張り
 *4 100×100×2.5mmのコンクリート板(本試験体と同一の調合のもの)に塗材を塗布し、アクリル樹脂製の透明容器にセットして十分シールし、20℃、60%RHの恒温恒湿内での放湿により求めた。

悪いコンクリートを想定し、アジテータ車に約 10 l/m^3 相当の水を加えよく攪拌したものを打設している。脱型は3日後に行い、安定したコンクリート下地で試験を行うため、一ヶ月間 20°C の水中養生を行った後、各種仕上材を施工し、その後六ヶ月間室内で気中養生を行い、2001年6月より屋外暴露している。

使用した仕上材の種類及び概要を表3に示す。各仕上材は、鉄筋コンクリート造建築物に一般的に使用されているものを選定したものである。なお、仕上材の施工は、日本建築学会の標準仕様書に準拠するものとし、吹付材については、JASS23、モルタル等の左官材については、JASS15にそれぞれ規定されている方法としている。

3. 試験結果及び考察

測定は、2001年8月より継続して行っているが、本報では各種材料に厳しい条件として夏季の条件をとりあげるものとし、できるだけ降雨の影響の少なくなるよう雨量計で雨が検知されなかった2001年8月11日より8月17日の一週間のデータに基づき検討を行うものとする。なお、各種気象因子は、建築研究所の屋外暴露場で同時に計測されたものを使用している。

3.1 コンクリートの品質の影響

仕上材の下地となるコンクリートについて、調合通りのもの（普通コンクリート）と加水したもの（加水コンクリート）との試験体内部温度の関係を図2に示す。これによると、一般に両者には差が見られず、ほぼ同じような温度を示している。これは、両者の水セメント比の差は3%で、品質の差が小さいためと考えられる。なお、図2中、仕上材無しのものやタイルについては、両者が同じ温度となっていないものが多い。これは、8月11日以前の降雨で、水分が蓄積され熱的性状が変化したためとも考えられるが、今回の測定範囲の中ではその原因は明確ではない。

以下、上記の結果を考慮し、加水の影響は小さいものとして、調合通りのものについて検討するものとする。

3.2 底部の断熱条件及び試験体厚さの影響

各仕上材毎に、底部の断熱条件又は試験体の厚さの条件を変えた場合の試験体内部温度の日変化を図3に示す。なお、軽量モルタルの試験体については、断熱材有りのもの以外のデータが欠測しているため、ここでは示していない。

これによると、夏季においては仕上材の有無に関わらず、底部に断熱を行ったものの試験体内部温度が最も気温が高く、底部解放の試験体と比べて、平均で 1°C 程度、最大では 5°C 程度



写真1 暴露試験の様子

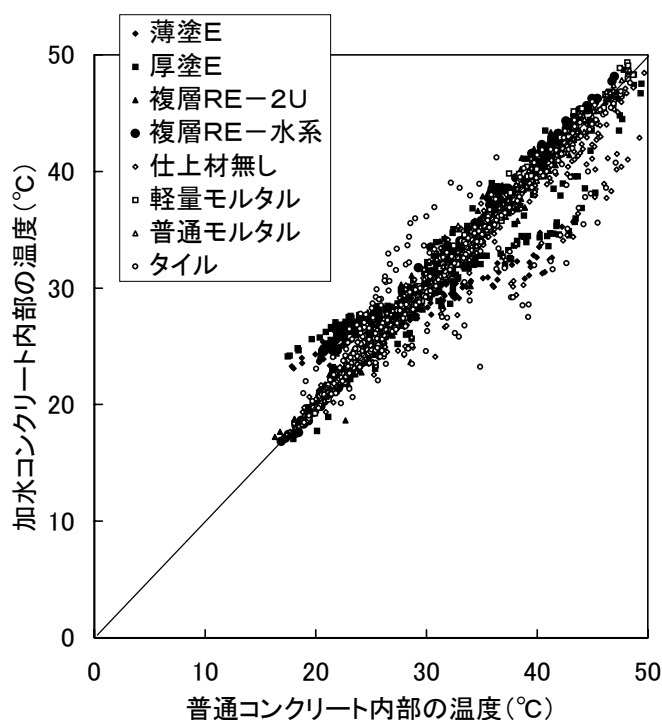


図2 普通コンクリートと加水コンクリートの試験体内部温度の関係

高い傾向となっている。これから、試験体の断熱条件によって、同じ熱が与えられた場合でも異なった劣化外力となると考えられる。

厚さ 100mm のものは、熱電対の位置が上面から 50mm の位置にあり、厚さ 50mm の場合の上面から 25mm の位置にある条件と比較して、温度変化は小さいものとなっており、試験体の測定位置によって温度が異なるといえる。

また、断熱及び厚さの条件に関わらず、仕上材のあるものは、仕上材が無いものに比べて、一般に温度変化が小さくなっていることから、表面の仕上材が内部温度に影響を与えると考えられる。

3.3 仕上材の影響

底部断熱の条件における各仕上材を施した試験体と仕上材無しの試験体の試験体内部温度の日変化を図 4 に示す。

これから、各仕上材はその種類ごとに次のような温度性状を示している。

- 1)塗材系（薄塗E，厚塗E，複層RE-2U，複層RE-水系）

これらを施した試験体は、一般に仕上材無しの試験体よりも、最大で4℃程度試験体内部温度が低くなる傾向を示している。これは、仕上材の材質によるコンクリート内部への伝熱の影響とともに、仕上材は全て白色系であることから、色の影響があると考えられる。

- 2)左官材系（軽量モルタル，モルタル，タイル）

これらを施した試験体は、一般に仕上材無しの試験体よりも、最大で4～5℃程度試験体内部温度が高くなる傾向を示している。

これらは厚みを持った仕上材であり、仕上材無しのものと比較し熱が逃げにくい状態にあるため、温度が高くなるものと考えら

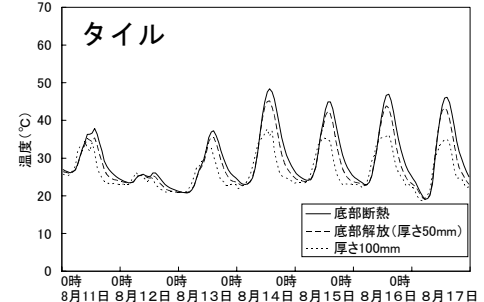
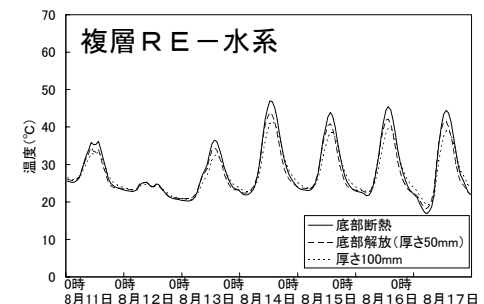
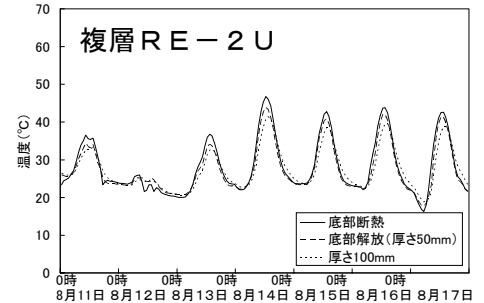
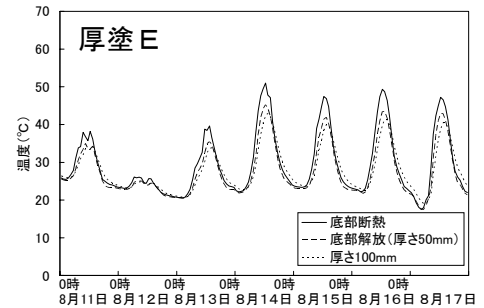
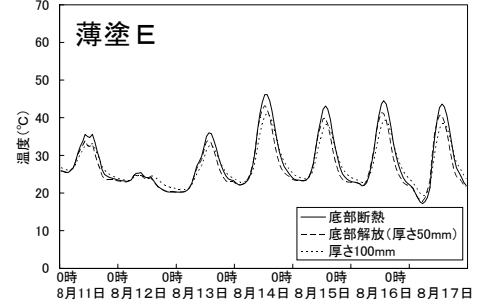
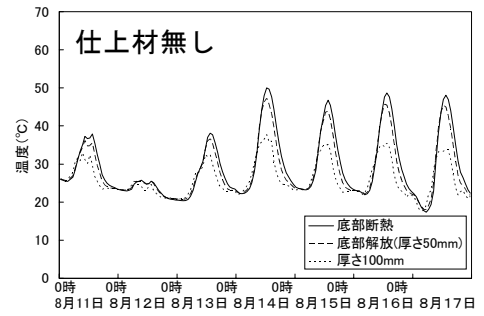
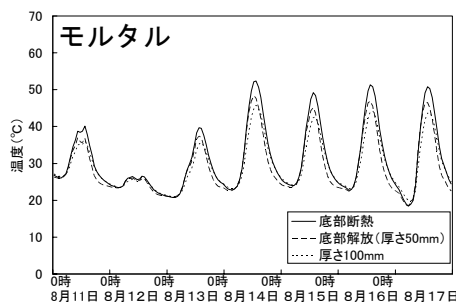


図 3 仕上材毎の断熱条件及び厚さの条件を変えた試験体内部温度の日変化

れる。ただし、タイルについては軽量モルタル及びモルタルと比較して、やや低い温度を示しており、これは今回用いたタイルが白色系だったことが影響しているものと考えられる。

底部断熱と底部解放の条件における、各仕上材を施した試験体と仕上材無しの試験体の試験体内部温度の関係を図5に示す。前述の1)の仕上材については、全て同様の傾向を示しているため、同じ図にプロットしている。この図によると、塗材系の仕上材については、断熱の条件、仕上材の種類に関わらずほぼ一定の関係を示した。これらの仕上材は全てエマルジョン系であるとともに、全て白色系で日射を反射する効果が高いためと考えられる。これから、夏季においては、塗材系の仕上材を施したコンクリートの内部温度については、色の影響があると考えられる。図に基づき、最小自乗法により、仕上材無しのコンクリートの内部温度と塗材系の仕上材を施したコンクリートの内部温度の関係式を求めると次式となる。

$$T_f = 0.888T_c + 2.444 \quad (\text{相関係数: } 0.9773) \quad (1)$$

ここに

T_f : 塗材系の仕上材 (白色系) を施工したコンクリート内部温度

T_c : 仕上材の無いコンクリート内部温度

現在提案されている促進劣化試験の多くは、温度のコントロールにより、試験体は一樣な温度変化を受けることになる。しかし、屋外暴露においては、ここに示したような色の影響等があり、そのような促進劣化試験では再現できない条件が想定されるため、促進劣化試験における劣化外力の設定には、この点を考慮に入れる必要があると考えられる。

2)の左官材系の仕上材を施した試験体は、仕上材無しの試験体に比べて内部温度が大きくなる傾向

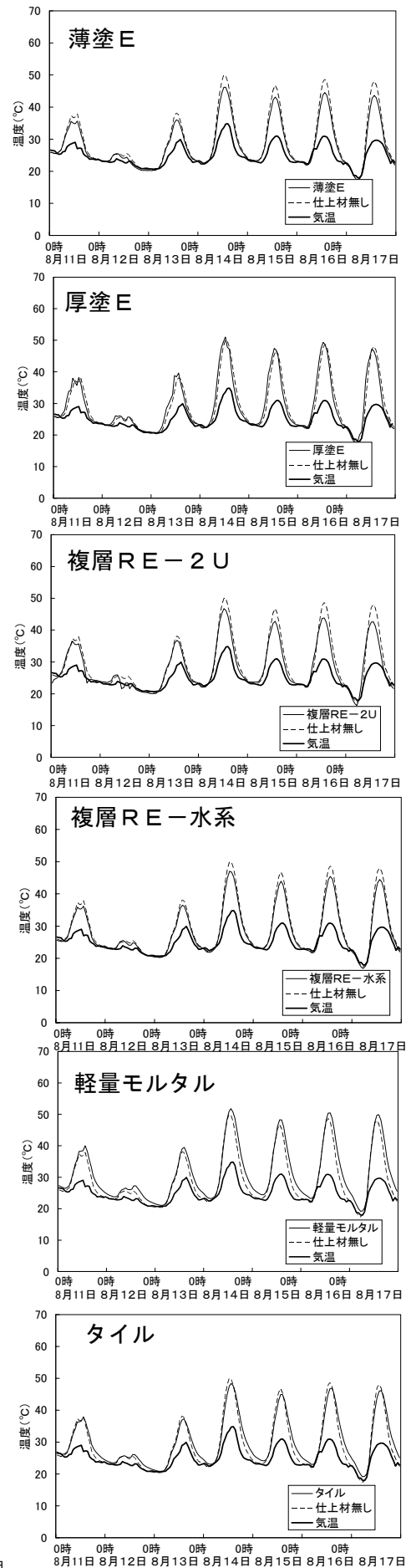
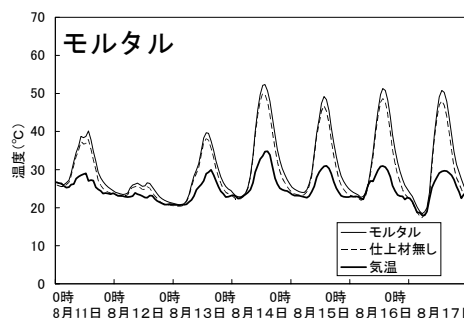


図4 仕上材無しと各仕上材を施した試験体内部温度の日変化の比較 (底部断熱の条件のもの)

を示しており、熱が逃げにくいという効果を見込む必要がある。しかし、今回の実験の範囲では仕上材の厚さや熱伝導率との関係でモルタルと軽量モルタルの違い等が説明できず、定式化まで至っていない。含水状態等とも関係していると考えられ、さらに検討が必要である。

なお、タイルは、軽量モルタル及びモルタルよりもやや温度が低くなっており、これは白色系のタイルを用いているためと考えられるが、温度変化の傾向は、図に示す通りモルタル及び軽量モルタルと似ており、タイルについては、表面の色の効果と熱が逃げにくいという効果の両方を考慮する必要があると考えられる。

4.まとめ

各種表面仕上材を施したコンクリート試験体を茨城県つくば市に自然暴露し、試験体温度と各種気象因子の実測を行い、実環境におけるコンクリート表層内部の温度変化に影響する各種要因の検討を行うとともに、コンクリート表層内部の温度推定に関する基礎的検討を行い、以下の知見が得られた。

- 1)コンクリートの内部温度は、その表面に施された仕上材により影響を受ける。
- 2)白色系の塗材を施した場合のコンクリートの内部温度は、夏季においてはその塗材の材質に関わらず、色による影響が大きい。
- 3)促進劣化試験の劣化外力の設定は、色の影響等、屋外暴露の条件の考慮が必要である。

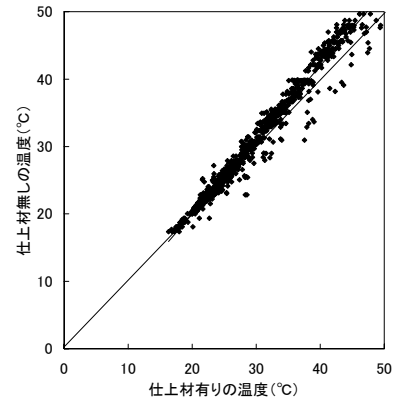
なお、今後、引き続き測定を行い、一年を通じた温度性状とともに、含水状態の影響等についても検討を行う予定である。

参考文献

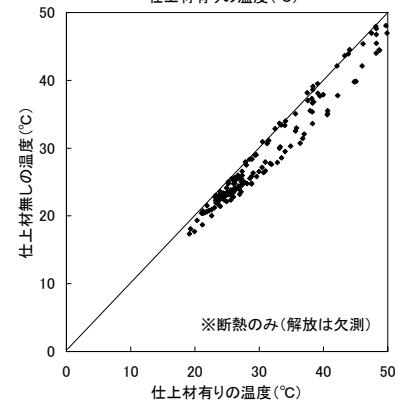
- 1)井戸川純子ほか：建築部材の目的指向型耐久設計に関する研究 その1 基本的考え方および設計手法の概要、建築学会大会梗概集, 2001.9
- 2)長谷川拓哉ほか：建築部材の目的指向型耐久設計に関する研究 その2 劣化試験確立のための地域・環境条件の検討 (コンクリートの中性化に

よるケーススタディ)、建築学会大会梗概集, 2001.9
 3)大久保孝昭ほか：建築部材の目的指向型耐久設計に関する研究 その3 基本性能試験に関する検討例 (接着一体性について)、建築学会大会梗概集, 2001.9

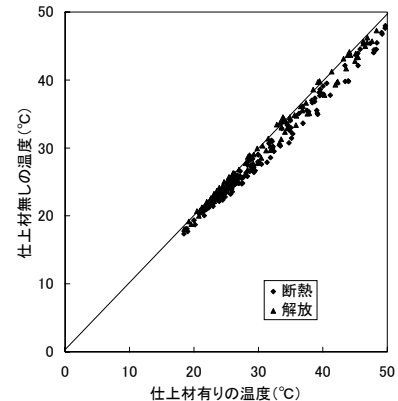
薄塗E
 厚塗E
 複層RE-2U
 複層RE-水系



軽量モルタル



モルタル



タイル

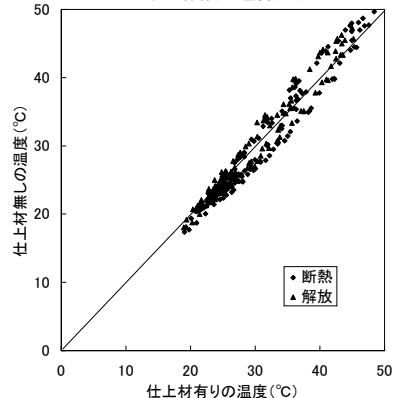


図5 仕上材無しと各仕上材を施したものの試験体内部温度の比較