

論文 コンクリート型枠用合板の転用に伴う合板の品質変化がコンクリート表面の品質および下地モルタルの接着強度に及ぼす影響

手島 基^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}・荒巻 卓見^{*4}

要旨:本研究は、コンクリート工事におけるコンクリート型枠用合板の転用が合板およびコンクリート表面に及ぼす影響を把握することを目的とし、さらにコンクリートと下地モルタルとの接着強度に及ぼす影響について検討したものである。その結果、合板およびコンクリート表面においては、転用に伴って合板の品質が低下すると、コンクリート表面は粗くなり、中性化が進行しやすくなるなどの影響を及ぼすことを明らかにした。また、下地モルタルの接着強度は、転用に伴うコンクリート表面の品質変化が接着強度の増加に影響を及ぼすことを明らかにした。

キーワード:コンクリート型枠用合板, 転用, 塗装合板, 無塗装合板, コンクリート表面, 下地モルタル

1. はじめに

コンクリート表面の品質変化が、硬化するまでに接するコンクリート型枠用合板(以下、合板と称す)の表面性状に依存するであろうことは想像に難くない。一方で、合板の転用が一般化しており、転用に伴ってコンクリート表面の性状が変質する状況にあると考えられる。しかしながら、建築工事標準仕様書・同解説JASS 5鉄筋コンクリート工事2009¹⁾(以下、JASS 5と称す)におけるコンクリート表面は、仕上りの平坦さおよび色むらに関する規定にすぎず、また、合板が所定の品質に仕上げることを妨げないこととしか示されておらず、転用に伴う品質基準については示されていない。また、型枠の設計・施工指針²⁾では、合板の転用回数を工期と型枠の使用期間から算定し、5~6回以上転用できると示されているが、合板の表面板がはがれるまでと定性的表現に留まっている。JAS(日本農林規格)³⁾には、転用に伴う品質基準が示されていない。つまり、これら3つの指針・規格には、コンクリート表面と合板について転用の可否を定める定量的な品質基準が記載されていないと言える。これにより、コンクリート表面の品質確保に立脚した合板の転用計画が立案できない場合が生じる。

そこで、本研究は、塗装を施さない合板(以下、無塗装合板と称す)および表面にウレタン系樹脂で処理を施した合板(以下、塗装合板と称す)の2種類を用いて、10回までの転用に伴う合板およびコンクリート表面の品質変化を把握することを目的とした。さらに、外装タイルの剥落が下地モルタル(以下、モルタルと称す)とコンクリート界面の破断に起因することが多いこと⁴⁾に着目し、合板の転用がコンクリートとモルタルとの接着強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験構成

実験は、転用が、合板およびコンクリート表面の品質に及ぼす影響とモルタルの接着強度に及ぼす影響で構成する。ここでは両実験に共通する実験概要について述べる。

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。本実験では、水セメント比(以下、W/Cと称す)を30, 40および50%の3水準とし、合板を無塗装合板および塗装合板の2水準とした。合板の転用は10回まで行った。なお、各試験を転用回数が1, 3, 5, 7および10回目において行った。

2.2 コンクリートの使用材料

コンクリートの使用材料を表-2に示す。

2.3 コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-3に示す。

2.4 試験体概要

合板およびコンクリート試験体の概要を図-1に示す。

表-1 実験の要因と水準

W/C (%)	合板の種類	合板の厚さ (mm)	転用回数 (回)	試験実施 [※] (回)
30 40 50	無塗装合板 塗装合板	12	1~10	1, 3, 5, 7, 10

※: 1, 5, 10回目(無塗装は、1回目)のみ接着強度およびひずみ量の測定を実施

表-2 コンクリートの使用材料

使用材料	名称	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm ³ 比表面積: 3,280cm ² /g
水	上水道水	埼玉県行田市
細骨材	栃木県栃木市 尻内町産陸砂	表乾密度: 2.61g/cm ³ 粗粒率: 2.75 吸水率: 2.30%
粗骨材	栃木県栃木市 尻内町産 石灰石岩砕石2005	表乾密度: 2.70g/cm ³ 粗粒率: 6.64 吸水率: 0.63%
化学混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工学部建設学科 専任講師 修士(工学) (正会員)

*4 ものつくり大学大学院 ものつくり学研究科ものつくり学専攻 (学生会員)

表-3 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a ¹ (%)	Vo ² (m ³ /m ³)	単位質量(kg/m ³)					フレッシュコンクリートの性状	
			W	C	S	G	Ad	SL ³ (cm)	空気量 ⁴ (%)
30	46.0	0.55	170	567	728	863	6.24	21.5	3.6
40	50.0	0.55	170	425	853	863	4.68	20.5	3.6
50	51.0	0.55	170	340	914	863	3.74	22.0	3.7

※1 細骨材率 ※2 単位粗骨材かさ容積
 ※3 スランプ(目標値21±1.5cm) ※4 目標値4.5±1.0%

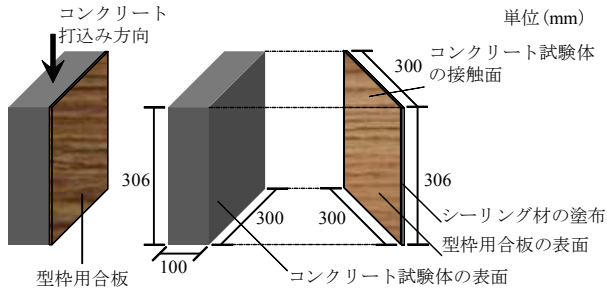


図-1 合板およびコンクリート試験体の概要

コンクリート試験体の寸法は、W300×H306×D100mmとした。合板の側面にはシーリング材を塗布した。コンクリートの打込みは一層打ちとし、締固めでは周波数12,000vpm、振動数200Hzおよび直径43mmの棒形振動機により5秒加振した。転用の手順としては、型枠の組立て、コンクリートの打込み、脱型および清掃とし、この作業を1サイクル4日間で行った。脱型は、コンクリートの打込みから48時間恒温恒湿室(20℃, RH60%)に静置したあとに行った。合板の表面は、転用するごとに表面状態に影響がない程度に乾布で拭き取り、簡易的に清掃することとした。

3. コンクリート型枠用合板の転用が合板およびコンクリート表面の品質に及ぼす影響

3.1 実験目的

ここでは、合板の種類とコンクリートの調合を変えて転用を10回まで行うことにより、転用に伴う合板およびコンクリート表面の品質変化を把握することを目的とした。

3.2 実験概要

実験の要因と水準、コンクリートの使用材料およびコンクリートの調合は2章と同様である。

3.3 試験項目および方法

試験項目および方法と測定位置を図-2に示す。なお、比較用として未使用の合板(以下、素地と称す)も同様に測定した。

(1) 合板の曲げ強さおよび曲げヤング係数

合板の曲げ強さおよび曲げヤング係数は、JAS規格の曲げ試験に準じて、繊維方向に対して直交する方向の試験片(W300×H100mm)3枚の平均値により検討した。

(2) 合板およびコンクリート試験体の吸水量

吸水量は、JIS A 6909-2010を参考にし、図-2に示す測定装置を用いて、脱型直後から6時間まで測定した。

(3) 合板およびコンクリート試験体の光沢度

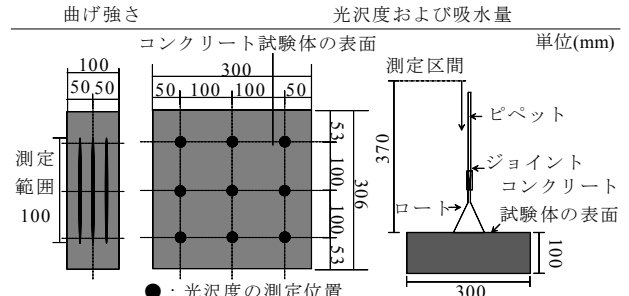
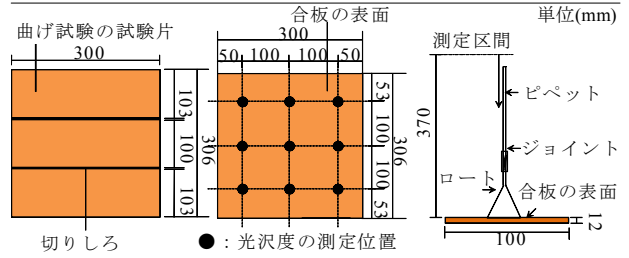


図-2 試験項目および方法と測定位置

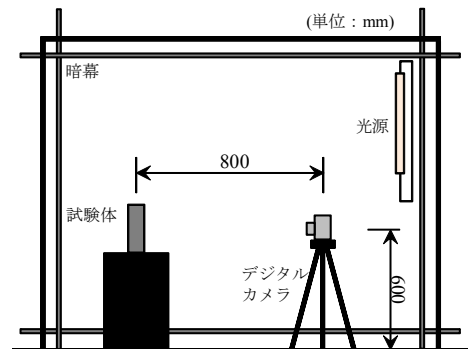


図-3 画像解析の撮影状況

光沢度の測定は、測定開口が9×18mmおよび鏡面光沢度60°の小型携帯型光沢計(M社製:GM-60)を用いた。

(4) 合板およびコンクリート試験体の色むら

画像解析の撮影状況を図-3に示す。画像解析は、大塚、岡本らの方法⁵⁾を用いて解像度72dpiで行い、コンクリート試験体の表面を明度(L値, 255階調)、合板の表面を明度(L値, 255階調)で評価した。

(5) コンクリート試験体の引っかかり傷幅

引っかかり傷幅は、日本建築仕上学会式の引っかかり試験器を用いて、加圧力9.8Nで約100mmの3本の引っかかり傷をつけ、クラックスケールを用いて測定した。なお、引っかかり傷幅は3本の平均値で評価した。

(6) コンクリート試験体の中性化深さ

中性化深さは、合板の転用1, 5および10回目のみ行い、型枠脱型直後から温度20℃、相対湿度60%、炭酸ガス濃度5%の促進条件で測定した。供試体は、合板と接触していない上下面のみをエポキシ樹脂でシールした。なお、中性化深さの測定はJIS A 1152-2010に準じて行った。

3.4 結果および考察

(1) 合板の曲げ強さおよび曲げヤング係数

転用回数と曲げ強さの関係を図-4に示す。無塗装合板

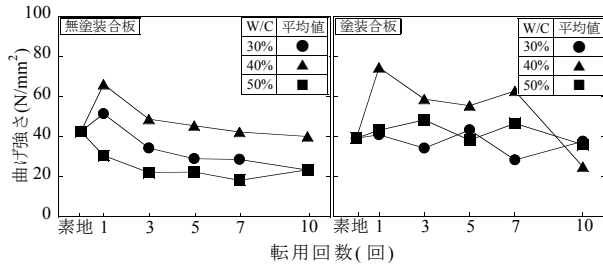


図-4 転用回数と曲げ強さの関係

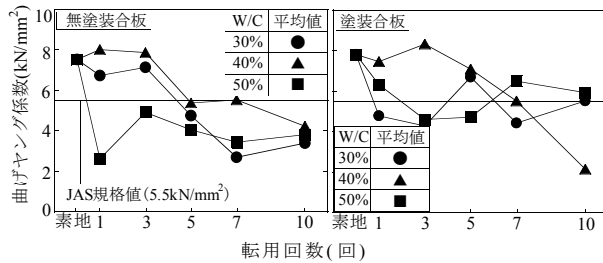


図-5 転用回数と曲げヤング係数の関係

における曲げ強さは、転用に伴って最大50%の減少を示した。これは、コンクリート試験体の表層における水分が無塗装合板に吸水され、合板における含水率の増加が影響したためと考えられる。また、塗装合板における曲げ強さは、W/C=40%を除いて、概ね一定で推移した。これは、合板表面の塗装によってコンクリート試験体の表層における水分が吸収が抑制されたためと考えられる。

転用回数と曲げヤング係数の関係を図-5に示す。無塗装合板における曲げヤング係数は、転用5回目以降においてJAS規格値を下回る傾向となった。一方、塗装合板における曲げヤング係数は、素地に比して低下するもののW/C=40%を除いて、転用10回目でJAS規格値と同等となった。これらについても、曲げ強さで述べた合板の吸水性状の相違によるものと考えられる

(2) 合板およびコンクリート試験体の吸水量

転用回数と合板の吸水量の関係を図-6に示す。無塗装合板における吸水量は、転用1回目において顕著に低下し、その後増加し、転用10回目で素地と同等となった。

転用回数とコンクリート試験体の吸水量の関係を図-7に示す。吸水量は、合板の種類に関わらず、いずれの合板も転用に伴って概ね増加する傾向を示し、W/Cが大きくなるほど顕著であった。これは、合板の転用に伴って合板の表面にセメントペーストが付着し、これが転写されるコンクリート試験体の表面の凹凸が大きくなることで表面積が増加したためと考えられる。

(3) 合板およびコンクリート試験体の光沢度

転用回数と合板の光沢度の関係を図-8に示す。無塗装合板における光沢度は、塗装合板に比べて著しく小さくなる傾向を示した。一方、塗装合板における光沢度は、転用に伴い直線的に減少する傾向を示した。これは、セメントペーストが合板の表面に付着し、合板表面に凹凸が生じたためと考えられる。

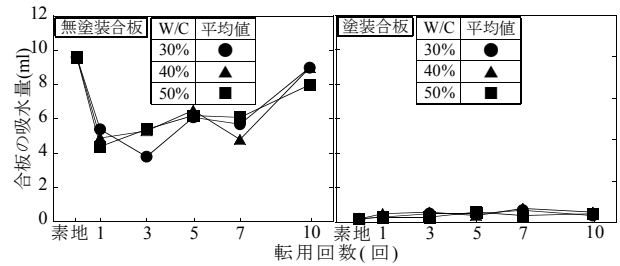


図-6 転用回数と合板の吸水量の関係

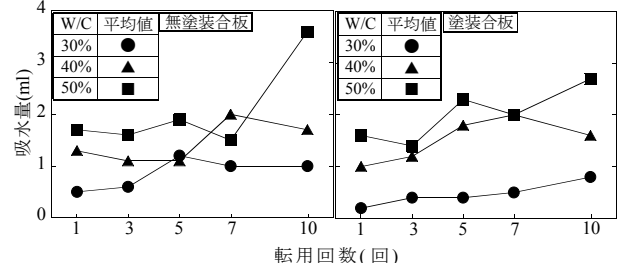


図-7 転用回数とコンクリートの吸水量の関係

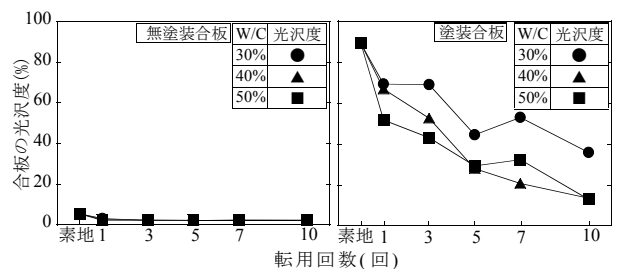


図-8 転用回数と合板の光沢度の関係

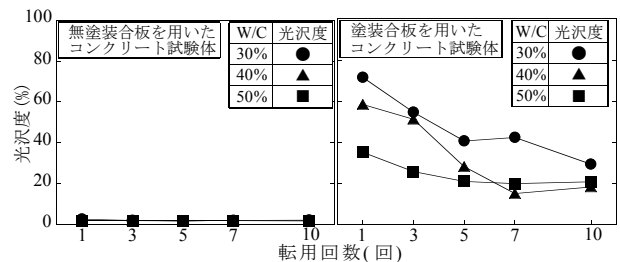


図-9 転用回数とコンクリート試験体の光沢度の関係

転用回数とコンクリート試験体の光沢度の関係を図-9に示す。無塗装合板を用いたコンクリート試験体における光沢度は、転用に伴いほぼ一定で推移する傾向を示した。一方で、塗装合板を用いたコンクリート試験体における光沢度は、転用に伴って減少する傾向を示し、W/Cに関わらず概ね同等の変化傾向を示した。これらは、光沢度に寄与する合板表面の平滑性とW/Cの相違によるものと考えられる。

(4) 合板およびコンクリート試験体の色むら

転用回数と合板の明度(L値)の関係を図-10に示す。無塗装合板におけるL値は、転用に伴い転用5回目まで増加し、転用7回目に減少する傾向を示したものの、転用10回目で顕著に増加した。これは無塗装合板の表面にセメントペーストが付着したためと考えられる。塗装合板におけるL値は、転用3回目まで概ね一定の傾向を示し、その後は増加した。これは、無塗装合板と同様に塗装合板の表面にセメントペーストが付着したためと考えられる。

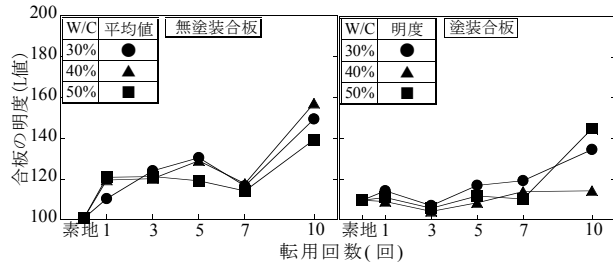


図-10 転用回数と合板の明度(L値)の関係

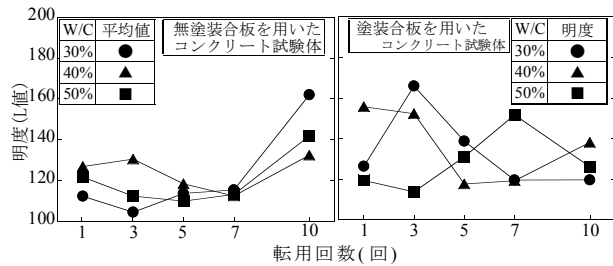


図-11 転用回数とコンクリート試験体の明度(L値)の関係

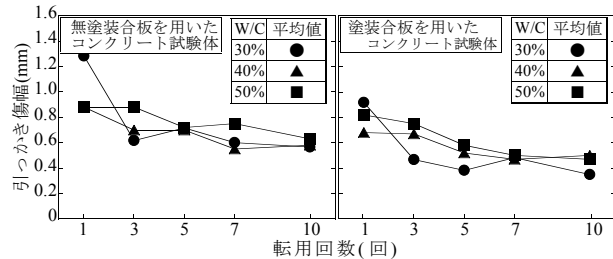


図-12 転用回数と引っかき傷幅の関係

転用回数とコンクリート試験体のL値の関係を図-11に示す。無塗装合板を用いたコンクリート試験体におけるL値は、転用7回目まで概ね減少し、転用10回目に増加する傾向を示した。これは、転用に伴い合板に付着したセメントペーストがコンクリート試験体に付着し、コンクリート試験体表面の凹凸の差を小さくし、平坦な面を形成したためと考えられる。塗装合板を用いたコンクリート試験体における明度(L値)は、W/Cで大きくばらつき、転用10回目では無塗装合板に比べ小さくなった。これは、合板の表面に付着したセメントペーストがコンクリート試験体に付着しなかったためと考えられる。

(5) コンクリート試験体の引っかき傷幅

転用回数と引っかき傷幅の関係を図-12に示す。無塗装合板を用いたコンクリート試験体の引っかき傷幅は、転用に伴い減少する傾向を示した。これは、合板の表面にむしれが生じ表面積が増加することにより、吸水してコンクリート試験体の表層における見掛けのW/Cが小さくなり、表面強度が増加したためと考えられる。また、塗装合板を用いたコンクリート試験体の引っかき傷幅は、転用に伴い減少する傾向を示した。これは、合板の表面に付着したセメントペーストがコンクリート試験体に転写され、コンクリート試験体の表面が粗くなることから、引っかき傷幅試験に対して表層が脆弱となったためと考えられる。

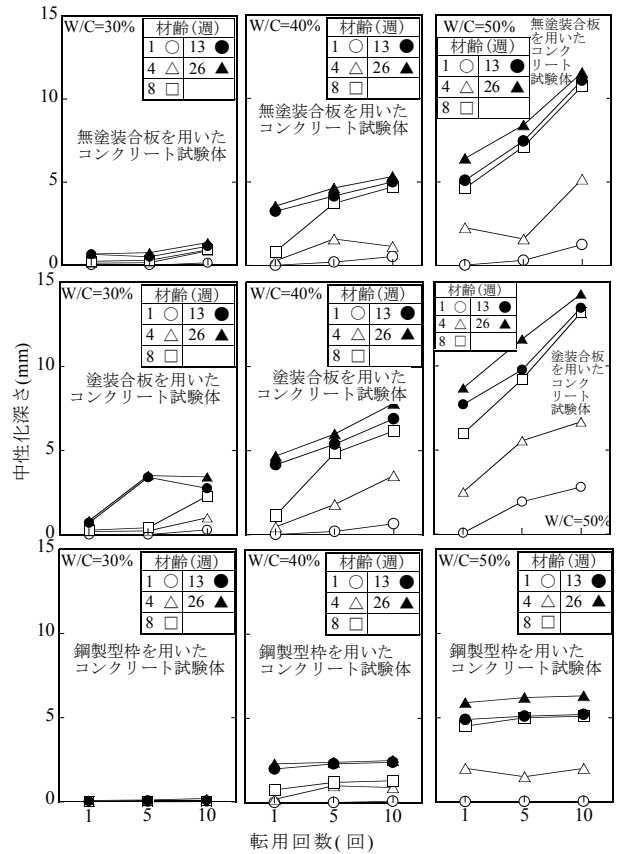


図-13 転用回数と中性化深さの関係

(6) コンクリート試験体の中性化深さ

転用回数と中性化深さの関係を図-13に示す。参考に鋼製型枠を用いたコンクリート試験体の中性化深さを示す。中性化深さは、転用に伴ってばらつきはあるものの概ね増加する傾向を示した。これは、コンクリート表面において凹凸が増加したことが影響しているものと思われる。中性化深さは、W/Cの大きなものほど顕著な増加傾向を示した。これは、コンクリート試験体のW/Cが大きいことによって表層の密実性が低下し、中性化深さに影響したものである。また、合板の転用に伴ってコンクリート試験体の表面において凹凸が大きくなることによって、表面積が増加するために炭酸ガスの侵入が多くなったものと思われる。また、塗装合板を用いたコンクリート試験体の中性化深さは、無塗装合板を用いた場合に比べ若干大きくなる傾向を示した。これは、コンクリート試験体の表層における水分が無塗装合板に吸水され、コンクリート試験体の表層における見掛けのW/Cが減少し、塗装合板を用いたコンクリート試験体に比べ密実性が高くなったためと考えられる。

4. コンクリート型枠用合板の転用が下地モルタルの接着強度に及ぼす影響

4.1 実験目的

ここでは、合板の10回目までの転用に伴うコンクリート表面の品質変化が、コンクリート表面と下地モルタルの接着強度へ及ぼす影響を把握することを目的とした。実験の対

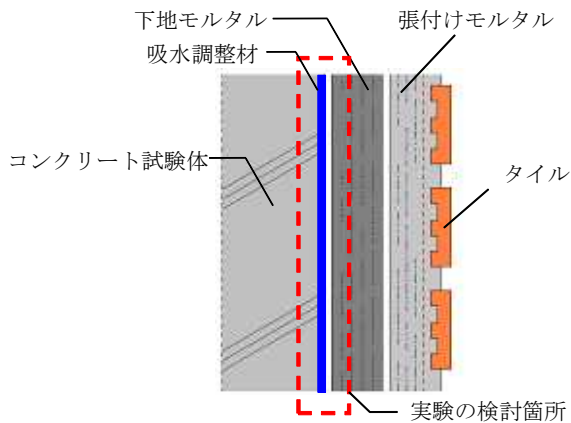


図-14 実験の対象箇所

象箇所を図-14に示す。

4.2 実験概要

実験の要因と水準は2章と同様である。

(1) モルタルの使用材料

モルタルの使用材料を表-4に示す。

(2) モルタルの調合

モルタルの調合を表-5に示す。モルタルの調合は、JASS 15に準じてC:S=1:2.5⁷⁾とし、目標モルタルフローはW/Cにより調節した。また、モルタルフローは、質量比でW/C=0.5のときに目標値を満足する結果となった。

4.3 試験項目および方法

(1) コンクリート試験体およびモルタルのひずみ量

試験体におけるひずみ量および接着強度の測定位置を図-15に示す。ひずみ量は、コンクリート試験体とモルタルの追従性を確認するために測定した。コンクリート試験体におけるひずみ量の測定は、塗装合板では転用回数1、5および10回、無塗装合板では転用回数1回の場合に行い、測定には貼付けひずみゲージを用いた。コンクリート打込みから材齢2週後にモルタルを塗り厚10mmで塗付けた後から材齢4週までとした。

(2) コンクリート試験体におけるモルタルの接着強度

接着強度の測定は、前述したひずみ量の測定に用いた試験体で行い、材齢4週に図-15に示すモルタルを塗付けた面の上、中および下の3箇所についてJASS 19⁸⁾に準じて、日本建築工学会認定接着力試験機を用いて行った。

4.4 結果および考察

(1) コンクリート試験体およびモルタルのひずみ量

合板の転用回数とひずみ量の比の関係を図-16に示す。ひずみ量の比は、材齢4週におけるコンクリート試験体のひずみ量をモルタルのひずみ量で除した値(コンクリート試験体のひずみ量/モルタルのひずみ量)であり、ひずみ量の比が1.0に近づくとき、両者のひずみ量が追従していることを示している。

塗装合板を用いた試験体におけるひずみ量の比は、W/Cに関わらず合板の転用に伴って増加する傾向を示した。こ

表-4 モルタルの使用材料

使用材料	名称	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3,280cm ² /g
水	上水道水	埼玉県行田市
細骨材	利根川産川砂	表乾密度：2.57g/cm ³ 粗粒率：2.58 吸水率：1.76%
吸水調整材	ポリマーデイスパーション	合成樹脂エマルジョン エチレン酢酸ビニル系(EVA)

表-5 モルタルの調合

質量比(C:S)	モルタルフロー(mm)		材齢28日圧縮強度(N/mm ²)	材齢28日曲げ強さ(N/mm ²)
	目標値	測定値 ¹⁾		
1:2.5	150±5.0	152.5	25.3	6.2

※1: 質量比でW/C=0.5のときに目標値を満足した

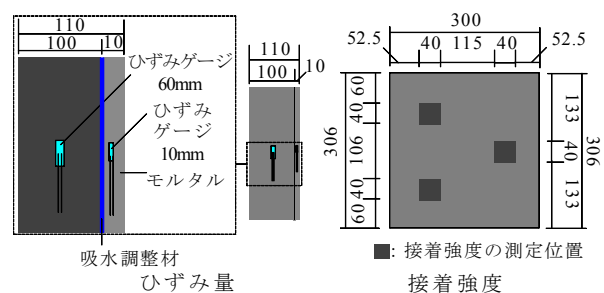


図-15 試験体におけるひずみ量および接着強度の測定位置

れにより、合板の転用に伴ってコンクリート試験体とモルタルのひずみ量の追従性が高くなり、コンクリートとモルタルの剥落が低減できる可能性を示唆している。また、塗装合板を用いた転用1回目の試験体を除いて、無塗装合板を用いたW/C=40%の同調合の試験体と比べ大きくなった。

(2) コンクリート試験体におけるモルタルの接着強度

合板の転用回数と接着強度および接着強度比の関係を図-17に示す。塗装合板を用いた試験体における接着強度は、合板の転用に伴って増加する傾向を示し、W/Cが大きくなるほど顕著であった。これは、転用に伴って合板の表面にセメントペーストが付着し、コンクリート試験体の表面の凹凸が大きくなることでモルタルとの界面における投錨効果が向上したためと考えられる。また、接着強度は、転用10回目において無塗装合板を用いた試験体の接着強度に近似する傾向となった。これは、接着強度がコンクリートとモルタルの界面の投錨効果に依存する場合には、界面の凹凸の大きい無塗装合板を用いた試験体の方が大きくなるのは当然であるが、塗装合板を用いた試験体についても転用に伴って凹凸が増し、無塗装合板の接着強度に近似することを示唆している。

接着強度比は、塗装合板を用いた試験体の転用1回目に対する割合を示した値とした。塗装合板を用いた試験体における接着強度比は、転用5回目に10~20%程度、転用10回目に20~30%程度増加する傾向を示したが、W/Cによる明確な傾向は示さなかった。

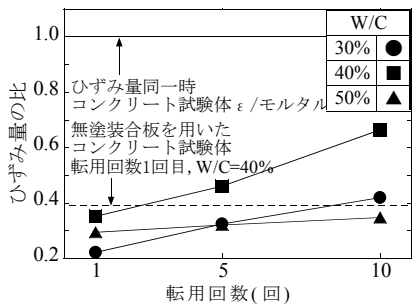


図-16 転用回数とひずみ量の比の関係

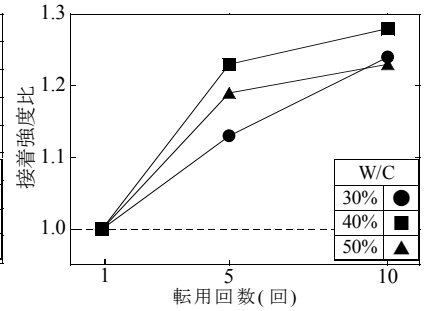
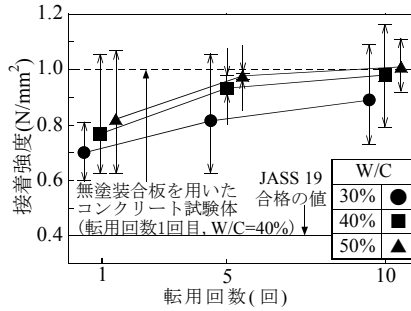


図-17 転用回数と接着強度および接着強度比の関係

表-6 転用に伴う品質変化および接着強度の定性的な傾向

合板の種類	評価項目	評価 ^{*1}	要因						
			合板の吸水	合板のむしれ	合板へのセメントペーストの付着	合板表面の塗装による影響	コンクリート表面の凸凹の増加		
無塗装合板	合板	曲げ強さ	-	●					
		曲げヤング係数	-	●					
		吸水量	+		●				
		明度(L値)	+			●			
	コンクリート試験体	吸水量	+		●	●		●	
		明度(L値)	+	●		●			
		光沢度	±						
		引っかけ傷幅	-	●	●				
	中性化深さ	+	●		●		●		
塗装合板	合板	曲げ強さ	±				●		
		曲げヤング係数	±				●		
		吸水量	±				●		
		明度(L値)	+			●			
	コンクリート試験体	光沢度	-			●			
		吸水量	+		●	●		●	
		明度(L値)	±				●		
		光沢度	-			●			
		引っかけ傷幅	-	●	●				
		中性化深さ	+			●		●	
		モルタル	接着強度	+			●		●

*1 増加傾向：+ 減少傾向：- 変化が少ない：±

5. まとめ

転用に伴う品質変化および接着強度の定性的な傾向を表-6に示す。表-6において、評価は、転用10回目までの全体的な傾向を示し、要因は、評価項目に大きく影響を及ぼしたと考えられるものに●印で示した。本研究は、合板の転用が合板およびコンクリート表面の品質に及ぼす影響およびコンクリート表面とモルタルの接着強度に及ぼす影響について検討した。この結果、合板の品質においては、無塗装合板と塗装合板によって若干異なるが、転用に伴い概ね低下した。また、コンクリート表面の品質においては、転用に伴い光沢度の低下や中性化深さの増加などが低下した。しかし、コンクリート表面とモルタルとの接着強度は増加し、転用を重ねることが外装タイル等の剥落防止に有効である可能性が示唆された。これらは、表-6から合板へのセメントペーストの付着が主な要因と考えられる。

今後は、側圧や剥離剤の塗布など実施工を想定した実験を行い、さらなる転用による影響を検討する必要がある。

謝辞

本実験を行うにあたり、日本大学理工学部中田研究室お

よびものつくり大学技能工芸学部大塚研究室の学生より多大な協力を頂きました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009, pp.160-167, pp.281-284, 2009
- 2) 日本建築学会：型枠の設計・施工指針, pp.22-23, pp.34-40, 2011
- 3) 日本農林規格協会：JAS コンクリート型枠用合板, 2008
- 4) (社)全国タイル業協会：タイル手帳, pp.62, 2008.5
- 5) 例えば大塚秀三ほか：画像解析による打放しコンクリートの色むらの評価 その1-2 日本建築学会学術講演梗概集(関東), pp.189-192, 2006. 9
- 6) 佐藤幸恵ほか：高感性打放しコンクリートに関する研究 その2 コンクリートの表面性状に及ぼす材料・調合および型枠の影響, 日本建築学会大会学術講演会梗概集 A-1 分冊, pp.1203-1204, 2005.9
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事, pp.21, 2007.6
- 8) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 19 陶磁器質タイル張り工事, pp.135-138, 2005.2