

論文 各種コンクリート型枠用合板の転用がコンクリートおよび合板の品質変化に及ぼす影響に関する実験的研究

亀井 雪帆^{*1}・大塚 秀三^{*2}・荒巻 卓見^{*3}・中田 善久^{*4}

要旨： 本研究は、ラワンおよび針葉樹を用いたコンクリート型枠用合板の転用が、コンクリート表面の仕上がり状態、表層品質および型枠用合板の品質変化に及ぼす影響を明らかにするために、表面気泡面積率、明度、明度の標準偏差、光沢度、引っかき傷幅、透気係数、透水量、曲げ性状、ノロの付着量および単板同士の接着の程度に着目し、検討を行った。その結果、コンクリート表面の仕上がり状態および表層品質は、ラワン合板および針葉樹合板のいずれも概ね同様の傾向を示した。また、型枠用合板の品質変化は、ラワン合板および針葉樹合板のいずれも転用回数に関わらず、JAS 基準値を満たす結果となった。

キーワード： コンクリート型枠用合板、転用、針葉樹合板、仕上がり状態、表層品質、品質変化

1. はじめに

コンクリート型枠用合板は、ラワンと総称される広葉樹材を用いた合板（以下、ラワン合板とする）が広く普及しているが、環境負荷の低減および国内における針葉樹材の有効活用の観点より、針葉樹材を用いた合板（以下、針葉樹合板とする）への代替が期待されている。針葉樹合板の普及に向けた開発や実証実験などの取り組みは、以前から行われている¹⁾が、普及が拡大傾向にあるとは言いが、限定的な使用に留まっているのが実状である。

一方、型枠工事では、合理性や経済性の観点より型枠を転用することが一般的である。型枠の転用は、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 2018」²⁾における「9.6 型枠の設計」において「型枠の転用にあたっては、所定の品質（合板およびコンクリート表面の品質）を確保するとともに、できるだけ転用回数を多くし、資源の節減に努める必要がある。」と解説されている。また、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針（案）・同解説」³⁾における 9 章 b. において「型枠工事では、転用回数が増えるように、型枠の選定ならびに工事計画を適切に実施する。」と記述されている。このように、型枠は資源の節約および環境配慮の観点からもできるだけ多く転用することが望まれている。

型枠の転用の影響に関しては、筆者らの一部⁴⁾がラワン合板における無塗装合板および塗装合板を対象に、転用に伴う型枠用合板の品質変化および転用した型枠用合板を用いた場合のコンクリート表面の仕上がり状態の変化を定性的に評価した結果について報告している。しかし、針葉樹合板に加え、型枠用合板の品質変化および転

用がコンクリート表面の仕上がり状態および表層品質に及ぼす影響に関する検討例は見当たらず、検討の余地が残る。

そこで、本研究は、一般に広く普及する JAS 合板との比較において針葉樹合板の転用が、コンクリート表面の仕上がり状態および表層品質ならびに型枠用合板の品質変化に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。ここでは、コンクリート表面の仕上がり状態および表層品質に関する項目として、表面気泡面積率、明度、明度の標準偏差、引っかき傷幅、透気係数および透水量に着目し、型枠用合板の転用回数が 10 回までの影響について検討を行った。また、転用に伴う型枠用合板の品質変化を明らかにするために、型枠用合板の品質に関する項目として、曲げ性状、ノロの付着量および単板同士の接着の程度も併せて検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

対象とした型枠用合板の概要を表-1 に示す。型枠用合板は、合板の日本農林規格（以下、JAS という）に適合するもので、厚さ 12mm の表面加工品とした。型枠用合板は、単板の樹種が異なるラワン合板 1 水準および針

表-1 対象とした型枠用合板の概要

製造地	型枠用合板の呼称	単板の樹種		型枠表面の状態	気乾密度 (g/cm ³)
東南アジア	ラワン合板	広葉樹	ラワン	ウレタン 5層	0.65
日本	針葉樹合板A	針葉樹	国産カラマツ、外国産ラウチ		0.63
	針葉樹合板B		国産ヒノキ		0.66

*1 ものづくり大学大学院ものづくり学研究科ものづくり学専攻 大学院生（学生会員）

*2 ものづくり大学技能工芸学部建設学科 教授 博士(工学)（正会員）

*3 ものづくり大学技能工芸学部建設学科 助教 博士(工学)（正会員）

*4 日本大学理工学部建築学科 教授 博士(工学)（フェロー会員）

表－2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・主成分
セメント(C)	普通ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm ³
水(W)	上水道水	—
細骨材(S)	栃木県栃木市尻内町産陸砂	表乾密度：2.61g/cm ³
粗骨材(G)	栃木県栃木市会沢町産碎石2005	表乾密度：2.70g/cm ³
化学混和剤(Ad)	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系

表－3 コンクリートの配（調）合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (C×%)
		W	C	S	G	
50.0	47.4	170	340	843	935	0.9

葉樹合板 2 水準の 計 3 水準とし、以降では、それぞれラワン合板、針葉樹合板 A および針葉樹合板 B と呼称する。転用回数は、いずれも 10 回までとし、1, 3, 5, 7 および 10 回目の試験体を試験対象とした。

2.2 試験体の概要

コンクリートの使用材料を表－2、コンクリートの配（調）合を表－3 に示す。コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比 50%の一般的なものとした。コンクリートのフレッシュ性状は、スランブを 18±2.5cm、空気量を 4.5±1.5%の範囲内とした。

試験体は、W300×H306×D100mm とし、各水準 3 体作製した。コンクリートは、2 層に分け詰め、1 層ごとに突き棒を用いて 30 回の突固めおよび木槌によるたたき作業を行った。コンクリートの打込み後、試験体は恒温恒湿室(20±2℃, R.H.60±5%)で養生し、材齢 2 日で脱型した。脱型した型枠は、乾布およびケレンによる清掃を行った。上記の型枠の組立て、コンクリートの打込み、型枠の脱型および清掃を 1 サイクルとし、1 サイクルを 7 日として転用を 10 回まで行った。型枠用合板は、木口からの吸水の影響を排除するため、木口全周にシリコン系シーリング材を塗布した。剥離剤は、いずれの水準も無塗布とした。

2.3 試験項目および方法

試験項目および方法を表－4 に示す。試験項目は、コンクリート表面において、表面気泡面積率、明度、明度の標準偏差、光沢度、引っかき傷幅、透気係数および透水量の 7 項目とした。また、型枠用合板の品質変化において、曲げ性状、ノロの付着量および単板同士の接着の程度の 3 項目とした。コンクリート表面における試験は、材齢 28 日に測定した。各試験は、転用回数が 1, 3, 5, 7 および 10 回目において実施した。なお、曲げ性状および単板同士の接着の程度は、未使用の型枠用合板につい

表－4 試験項目および方法

試験対象		試験項目	試験方法
コンクリート 試験体	表面の仕上がり状態	コンクリート表面の 表面気泡面積率	撮影した画像を二値化処理し 試験体の表面積に対する 表面気泡面積率を算定
		コンクリート表面の 明度	分光測色計による測定
		コンクリート表面の 明度の標準偏差	撮影した画像の 明度の標準偏差を評価
		コンクリート表面の 光沢度	光沢度計(測定角度:60°) による測定
	表層品質	引っかき傷幅	日本建築工学会式 引っかき試験器による測定
		透気係数	NDIS 3436-2:2020
		透水量	JIS A 6909:2014 透水試験B法
型枠用合板	曲げ性状	JAS 別記3(11)ア	
	ノロの付着量	乾布を用いた清掃後の 合板の質量変化	
	単板同士の接着の程度	JAS 別記3(2)イ(エ)	

ても試験を行った。

(1) コンクリート表面の仕上がり状態

コンクリート表面の仕上がり状態に関する測定位置を図－1 に示す。表面気泡面積率および明度の標準偏差については、試験体表面のデジタルカメラによる撮影画像を用いて評価した。コンクリート表面の撮影環境を図－2、デジタルカメラの仕様を表－5 に示す。撮影対象は、試験体の表面 300×306mm とした。撮影環境は、外部からの光の影響を排除するため、外側は暗幕とした。また、撮影環境の違いによる影響を排除するため、撮影位置および光源配置を一定とした。明度および光沢度については、分光測色計および光沢度計を用いて試験体表面を直接評価した。

1) コンクリート表面の表面気泡面積率

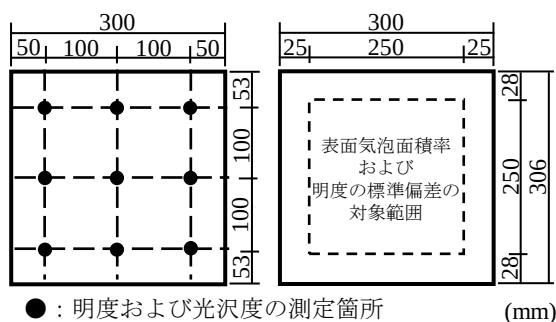
コンクリート表面の表面気泡は、画像編集ソフトを用いて、表面気泡面積率を算出し評価した。表面気泡面積率は、撮影したコンクリート表面の画像を 250×250mm の試験範囲で切り取り、解像度を 300×300Pixel に変更した後、表面気泡部分を黒、その他を白で二値化処理を行い、表面気泡が全体に占める面積割合を算出した。

2) コンクリート表面の明度

コンクリート表面の明度は、分光測色計を用いて評価した。測定位置は、1 面あたり 9 箇所とし、その平均値により評価した。

3) コンクリート表面の明度の標準偏差

コンクリート表面の明度の標準偏差は、既報の画像解析手法⁵⁾に基づいて、明度の標準偏差により評価した。なお、明度の標準偏差は、試験体表面の色むらの程度を相対的に評価⁶⁾するものである。画像解析の手順は、撮



●：明度および光沢度の測定箇所
図-1 コンクリート表面の仕上がり状態に関する測定位置

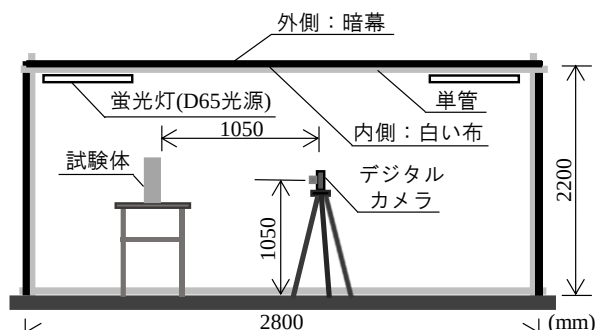


図-2 コンクリート表面の撮影環境

表-5 デジタルカメラの仕様

項目		名称・仕様
デジタルカメラ	形式・機種	デジタル一眼レックスAE・AFカメラ CANON社製EOS60D
	有効画素数	約1600万画素
	レンズ	S社製単焦点レンズ(30mm, 画角45°)
撮影条件	画像サイズ	3456×2304
	撮影モード	ISO感度：400 ホワイトバランス：マニュアル 絞り値：45 シャッタースピード：1/100
	フォーカス	撮影距離ごとで固定
	フラッシュ	使用しない

影したコンクリート表面の画像を250×250mmの範囲で切り取り、解像度を300×300Pixelに変更し、全画素のRGB値を抽出した後、sRGB色空間からX, Y, Zへ変換し、X, Y, ZからL*へ変換した。

4) コンクリート表面の光沢度

コンクリート表面の光沢度は、測定角度が60°の光沢度計を用いて評価した。測定位置は、1面あたり9箇所とし、その平均値により評価した。

(2) コンクリートの表層品質

コンクリートの表層品質に関する測定位置を図-3に示す。引っかかり傷幅は、試験体の側面100×306mmの範囲にて測定した。透気係数および透水量は、試験体の表面300×306mmの範囲にて測定した。

1) 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

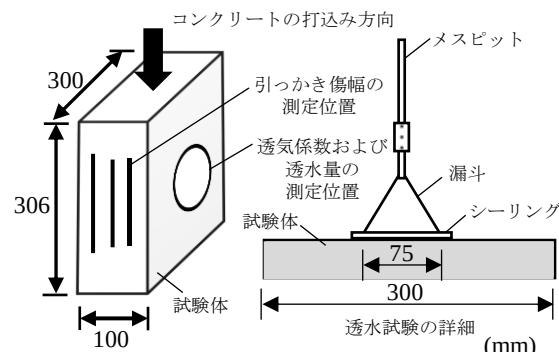


図-3 コンクリートの表層品質に関する測定位置

器を用いて評価した。試験は、試験体の側面で1体あたり3箇所とし、その平均値により評価した。

2) 透気係数

透気係数は、NDIS 3436-2:2020に準拠し測定した。測定位置は、試験体1体あたり粗大な表面気泡を避けた凡そ中心部1箇所とした。

3) 透水量

透水量は、JISA 6909:2014 透水試験B法に準拠し測定した。測定位置は、試験体1体あたり粗大な表面気泡を避けた凡そ中心部1箇所とした。

(3) 合板の品質変化

1) 曲げ強さおよび曲げヤング係数

曲げ強さおよび曲げヤング係数は、JAS 別記 3(11)アに準拠し測定した。曲げ試験は、型枠用合板表面の繊維方向に対して直角方向(90°)、すなわち幅方向の曲げとした。試験は、温度20±2℃、相対湿度60%の環境で型枠用合板の含水率を一定にした後に行った。試験片の寸法は、W300×D100mmとし、転用回数ごとに3体の試験片により評価した。

2) ノロの付着量

ノロの付着量は、型枠の脱型直後および表面を乾布で清掃した後の型枠用合板の質量をそれぞれ計測し、その差分の型枠用合板の質量変化を算出した。

3) 単板同士の接着の程度

単板同士の接着の程度は、JAS 別記 3(2)イ(エ)に準拠し測定した。試験片の寸法は、W100×D25mmとし、転用回数ごとに2体の試験片により評価した。

3. 結果および考察

3.1 コンクリート表面の仕上がり状態に及ぼす影響

転用回数ごとのコンクリート表面の撮影画像の一例を写真-1に示す。目視における印象では、転用回数に伴い、表面気泡が増加する傾向がみられた。表面気泡は、転用初期において、比較的大きな径の気泡が若干みられたが、転用を重ねることで、細かい気泡が増加する傾向がみられた。

転用回数とコンクリート表面の仕上がり状態の関係を

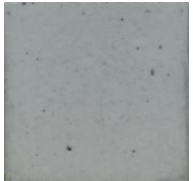
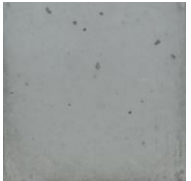
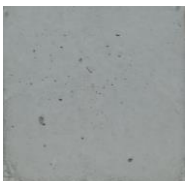
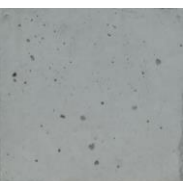
試験体	転用回数				
	1回目	3回目	5回目	7回目	10回目
ラワン合板					
針葉樹合板A					
針葉樹合板B					

写真-1 転用回数ごとのコンクリート表面の撮影画像の一例

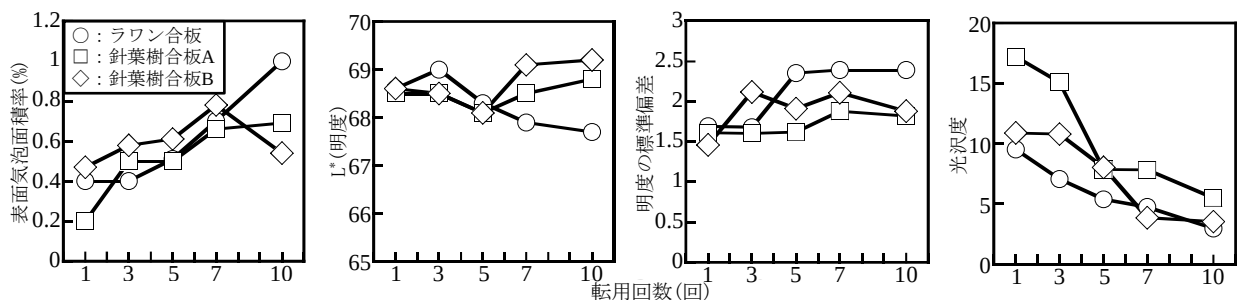


図-4 転用回数とコンクリート表面の仕上がり状態の関係

図-4に示す。ここでは、表面気泡面積率、明度、明度の標準偏差および光沢度の試験結果を示す。

(1) 表面気泡面積率

表面気泡面積率は、突出した値は見られるものの、転用回数に伴い、概ね増加する傾向を示した。転用初期は、ラワン合板が0.40%、針葉樹合板Aが0.20%、針葉樹合板Bが0.47%となり、転用10回目は、ラワン合板が1.00%、針葉樹合板Aが0.69%、針葉樹合板Bが0.54%となった。これは、転用に伴い合板の表面粗さが増大したため、気泡の上方への移動が阻害され、合板表面に残存しやすくなったと考えられる。

(2) 明度

明度は、ラワン合板において、転用回数に伴い概ね一定かわずかに小さくなる傾向を示した。一方で、針葉樹合板Aおよび針葉樹合板Bにおいて、転用1回目から5回目にかけて小さくなり、転用5回目から10回目にかけて大きくなる傾向を示した。これは、転用に伴い、合板表面におけるセメントペーストの付着量の増加および脱型時における木材繊維の劣化の影響⁹⁾により、コンクリート表面の均一性が低下したためと考えられる。

(3) 明度の標準偏差

明度の標準偏差は、いずれの水準も、転用に伴い大きくなる傾向を示した。転用初期は、ラワン合板が1.69、針葉樹合板Aが1.61、針葉樹合板Bが1.46となり、転用10回目は、ラワン合板が2.39、針葉樹合板Aが1.82、針葉樹合板Bが1.88となった。これは、前述したように、コンクリートの表面粗さが増大したことにより、コンクリート表面の均一性が低下したため、ばらつきが大きくなったと考えられる。

(4) 光沢度

光沢度は、いずれの水準も、転用に伴い小さくなる傾向を示した。特に、針葉樹合板Bにおいて、転用3回目から5回目にかけて小さくなった。これは、コンクリート表面において型枠用合板表面の不均一な付着をしたセメントペーストによる凹凸を転写し、コンクリートの表面粗さが増大したことにより、鏡面反射率が減少し、拡散反射成分が増加したためと考えられる。この点については、既往の研究⁹⁾において、表面粗さと光沢度の関係に負の相関があることが明らかとされており、本実験の傾向は、表面粗さの変化が主要因と思われる。

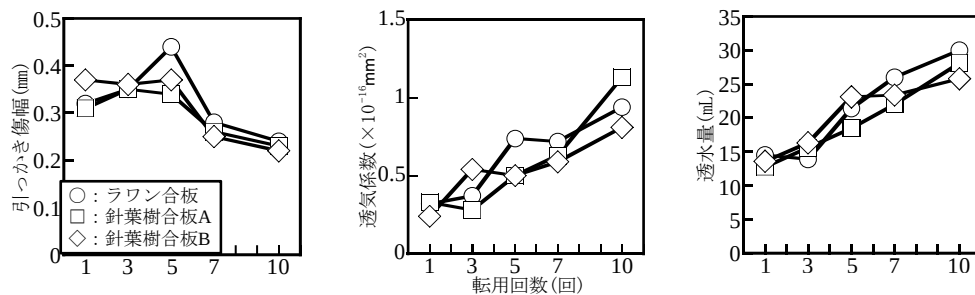


図-5 転用回数とコンクリートの表層品質の関係

3.2 コンクリートの表層品質に及ぼす影響

転用回数とコンクリートの表層品質の関係を図-5に示す。ここでは、引っかき傷幅、透気係数および透水量の試験結果を示す。

(1) 引っかき傷幅

引っかき傷幅は、転用1回目から5回目にかけて一定もしくは微増し、転用5回目から10回目にかけてわずかに減少する傾向を示した。また、転用1回目から5回目は、水準によるばらつきが見られたが、転用7回目および10回目は、いずれの水準も同様に推移した。これは、既往の研究⁸⁾と同様の傾向を示したが、後述する透気係数および透水量が転用回数に伴い大きくなる結果を考慮すると相反する傾向となった。この点については、コンクリートの表層品質は転用による影響が生じるが、転用がコンクリート表面の強度に及ぼす影響は小さいため、わずかな低下に留まったと考えられる。

(2) 透気係数および透水量

透気係数および透水量は、いずれの水準も、転用に伴い大きくなる傾向を示した。これは、コンクリートの表面積の増加に加え、表面気泡がセメントペーストの薄膜で覆われ目視できないが、表面清掃後に現れる隠れ気泡の影響および転用に伴う合板の表面粗さの増大に起因する、脱型により生じる脆弱層の影響により表層コンクリートの密実性が損なわれた可能性が要因として考えられる。また、針葉樹合板Bは、透気係数および透水量において、転用1回目から10回目にかけての増加量が最も小さい結果となった。なお、針葉樹合板Bは、前節で述べた表面気泡面積率の変化量においても、最も小さい結果となっている。これは、表面気泡がコンクリート表面の仕上がり状態だけでなく表層品質にも影響を及ぼすとした報告¹⁰⁾と同様の傾向となった。これらを踏まえて、以降では、表面気泡が透気係数および透水量に及ぼす影響に着目し、検討を行った。

表面気泡面積率と透気係数および透水量の関係を図-6に示す。透気係数は、表面気泡面積率の増加に伴い、大きくなる傾向を示した。これは、既往研究¹¹⁾より、表面気泡面積率が増加することで前述した隠れ気泡も増加し、薄膜部における脆弱層および密実性が損なわれた影響によって、実際の物質透過性より大きくなるためと考

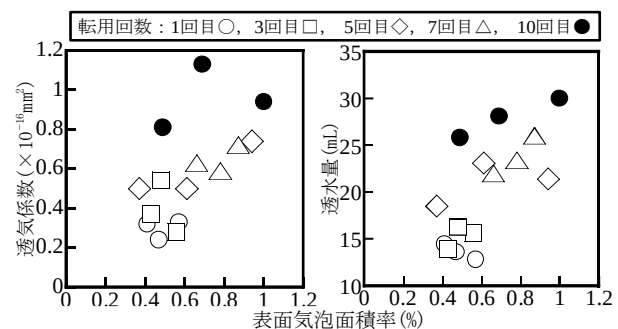


図-6 表面気泡面積率と透気係数および透水量の関係

えられるが、本実験の水準では詳細な分析に至っていないため今後の課題としたい。透水量は、表面気泡面積率の増加に伴い、大きくなる傾向を示した。これは、表面気泡面積率が増加したことにより、試験体の表面積が増大したためと考えられる。このことから、表面気泡面積率の増加は、コンクリートの表層品質に影響を及ぼすことが示唆される。

3.3 型枠用合板の品質に及ぼす影響

転用回数と合板の品質変化の関係を図-7に示す。ここでは、曲げ性状として曲げ強さおよび曲げヤング係数に加え、ノロの付着量および単板同士の接着の程度の試験結果を示す。

(1) 曲げ強さおよび曲げヤング係数

曲げ強さおよび曲げヤング係数は、いずれの水準もばらつきが大きく、10回程度の転用では変化が少ない傾向がみられた。なお、曲げヤング係数は、いずれの水準もJAS基準値を満たしているものの、ラワン合板は、転用回数に関わらず、針葉樹合板Aおよび針葉樹合板Bを大きく上回る傾向を示した。実施工における型枠工事では、コンクリートの側圧による影響に加え、屋外環境における降雨および紫外線の影響が型枠用合板の品質劣化を助長することが想定されるため、型枠用合板の転用に伴う品質変化が顕著に表れる可能性が考えられる。この点については、実施工を模擬した実験や実際の施工現場での調査による検討が必要であり、今後の検討課題としたい。

(2) ノロの付着量

ノロの付着量は、いずれの水準も、転用に伴い概ね増加する傾向を示した。転用1回目から10回目にかけてのノロの増加量は、針葉樹合板Bが最も大きく、針葉樹

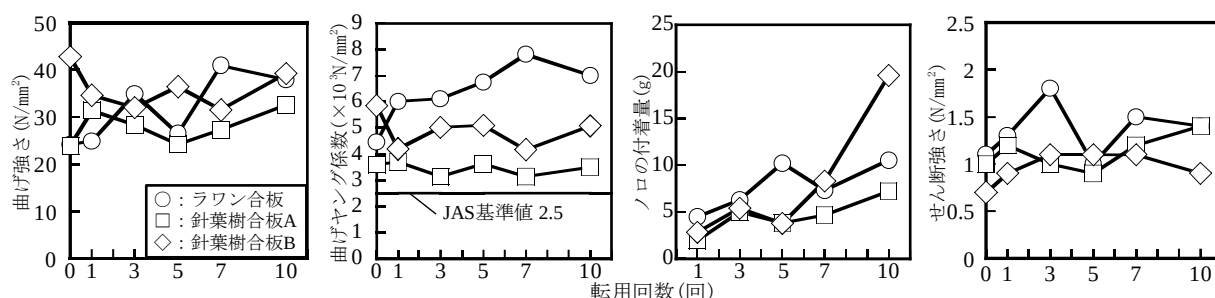


図-7 転用回数と型枠用合板の品質変化の関係

合板 A が最も小さかった。これは、転用に伴い型枠用合板の表面粗さが増大し、セメントペーストの付着量が増加したためと考えられる。

(3) 単板同士の接着の程度

単板同士の接着の程度は、いずれの水準も JAS 基準値を満たしているものの、転用回数に伴う変化は一定の傾向を示さなかった。しかし、ラワン合板は、転用回数に関わらず、針葉樹合板より概ね高くなった。これは、曲げ性状においてラワン合板が針葉樹合板を上回る影響により、単板同士の接着の程度もラワン合板が大きくなったためと考えられる。

4. まとめ

本研究では、ラワン合板および針葉樹合板を対象に、転用によるコンクリートの表面仕上がり状態および表層品質の変化ならびに型枠用合板の品質変化に関する検討を行った。本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリート表面の仕上がり状態は、いずれの試験においても、ラワン合板および針葉樹合板において、概ね同様の傾向を示した。
- (2) コンクリートの表層品質は、いずれの試験においても、ラワン合板および針葉樹合板において、概ね同様の傾向を示した。
- (3) 型枠用合板の品質は、いずれの水準もばらつきが見られたが、曲げヤング係数において、ラワン合板が針葉樹合板を大きく上回る傾向となった。

今後は、実施工を模擬した実験、実際の施工現場での調査および屋外環境における型枠用合板の品質劣化について検討したい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (JP 20K14875) の助成により行ったものです。実験の実施にあたっては、ものづくり大学技能工芸学部建設学科建築材料施工研究室の学生より多大なご協力を頂きました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 地域材コンクリート型枠用合板普及推進検討委員

会：地域材を使用したコンクリート型枠用合板の開発・普及について、日本合板工業組合連合会，2018.1

- 2) 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，pp.304-306，2018
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針（案）・同解説，pp.100-101，2008
- 4) 中田善久，大塚秀三，荒巻卓見，宮田敦典：転用によるコンクリート型枠用合板の品質変化とこれを用いたコンクリート表面の仕上がり状態に関する一考察，日本建築学会構造系論文集，第 84 巻，第 766 号，pp.1513-1523，2019.12
- 5) 伊與田浩志，酒井英樹，高砂裕行，島田秀弥：デジタルカメラを用いた食品焼き色評価装置の開発，日本食品工学会誌，Vol.11，pp.203-213，2010.12
- 6) 大塚秀三ほか：検査条件の相違がコンクリート表面の色むらの認識に及ぼす影響(その 1 官能検査の概要および心理学的尺度の構成)，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，pp.609-610，2014.9
- 7) 湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：引っかき傷によるコンクリートの表面強度測定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.677-678，1999.9
- 8) 安居裕之ほか：コンクリート型枠用合板の転用がコンクリートおよび合板の品質に及ぼす影響(その 7 側圧がコンクリート表面の品質に及ぼす影響)，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，pp.651-652，2012
- 9) 深尾宙彦，北垣亮馬，佐藤幸恵，野口貴文：コンクリート表面の明度および光沢度に及ぼす表面性状の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.649-654，2013
- 10) 坂田昇，渡邊賢三，細田暁：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法，コンクリート工学，Vol.25，No.7，pp.601-606，2012
- 11) 岸利治，秋山仁志，井上翔，原島実：構造物表面のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会(335 委員会)成果報告書およびシンポジウム講演梗概集，コンクリート技術シリーズ No.80，pp.30-36，2008