

既調合しっくいの施工性に関する一考察

日大生産工（研究員） 〇田中 良 日大生産工（学部） 庄司 真
日大生産工（学部） 原 寛太 日大生産工 永井 香織

1 はじめに

しっくいは消石灰（水酸化カルシウム）を主原料として、麻や稲わらなどのすさと海藻のり、砂などを加えて作られた湿式工法である。古くから日本の和風建築や土蔵造りなどに用いられてきたしっくいは二酸化炭素を吸収しながら硬化する気硬性の素材である為、施工後に長い養生期間を要する。

建築様式の近代化によって、左官材料としてしっくいが用いられる機会は少なくなっているが、ホルムアルデヒドの吸着機能や調湿性能に優れ、脱臭や自浄作用もあることから住環境を整えてくれる材料¹⁾として見直されている。また、見た目の美しさ、街や集落の景観を守る為に現存するしっくい仕上げの歴史的建造物は少なくない。今後、建造物の維持保全として利用する為に改修が必要であることを踏まえれば、左官材料の性能を把握しておく必要がある。

建築工事標準仕様書（JASS15）²⁾による「しっくい」の塗り仕上げは大きく分類すると3種類が明記されている。中でも既調合しっくいは、原料をあらかじめ調合しておき、建築現場ですぐに使用することができるよう、天然の材料に加えて化学原料等、調合コントロールされた左官材料である。既往の研究³⁾⁴⁾より、水比によって練り混ぜやすさや塗り付けやすさは少しずつ変化することが分かった。本研究では、既調合しっくいにおける練り混ぜや塗り付け、すなわちFig.1.1の施工の流れに着目し、フロー試験を基軸に調合材、実際の塗り付け、仕上げの状態について考察した結果を述べる。

2 試験概要

2.1 試験体

本試験に用いる塗り仕上げの調合比をTable.2.1に示す。JASS15¹⁾に指定される既調合しっくいとした。試験体は日本全国で製品として販売されている計21試験体を用意した。既調合しっくいは練り製品及び粉体状の水を加えて現場調合するものと大きく分けて2種類がある。水量はTable.2.1の条件を適用した。

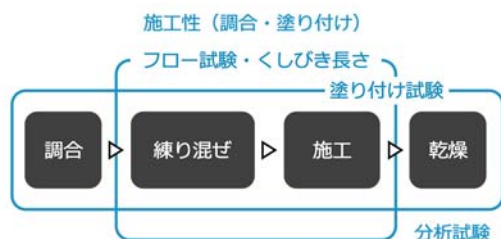


Fig.1.1 Test flow

現場調合のしっくいは各材料を投入後、水を少量加えて練り混ぜを行った。ダマの状態にならないよう約2～10分程度混ぜた。

2.2 フロー試験

しっくい練り混ぜの性状と施工性の確認を目的として、日本工業規格JIS R 5201（フロー試験）よりモルタルに用いる試験方法を参考に実施した。また、建築現場でのしっくいの仕上げ工程は練り混ぜ後、一日静置してから工程を進める場合があることを考慮し、最大48時間静置時のしっくいの施工性の変化を同時に確認することとした。練り混ぜ後の静置はラップをした上で空気になるべく触れないよう密封して水槽に沈めた。試験はフローテーブル直径300mm、フローコーン高さ60mm及び下部径100mmを用いて実施した。練り混ぜ後、20℃60%の環境下で0、0.5、1、24、48時間後にそれぞれ試験を実施した。試験回数及び速度は1秒間に1回落下する速度として15回の落下運動を実施した。落下運動後に広がったしっくいは横幅と縦幅を測定し、それを平均してフロー値とした。

2.3 くしびき長さ試験

試験概要をTable.2.2、Fig. 2.1に示す。簡易的に施工性の数値評価することを検討するため、試験を実施した。くしの種類についてはTable.2.2に示す通り3種類

Table.2.1 Test piece

試験体名	塗厚 (mm)		調合比 (kg)	
	指定標準塗厚	グラム換算 (g)	本体	水
A	1.5	20.61	1	0.75
B	1.5	21.84	1	0.75
C	2.0	27.35	1	0.675
D	1.5	21.22	1	0.75
E	1.5	21.22	練り製品	
F	1.5	22.45	1	0.8
G	1.0	10.00	1	4
H	1.0	10.00	練り製品	
I	3.0	23.06	練り製品	
J	0.1	3.47	練り製品	
K	0.2	5.10	練り製品	
L	1.0	27.76	1	0.7
M	1.0	17.14	1	1
N	1.0～2.0	15.92	1	0.6
O	1.0～2.0	16.53	1	0.65
P	0.8	11.02	練り製品	
Q	1.0	14.49	練り製品	
R	1.0	14.29	練り製品	
S	1.0	14.29	練り製品	
T	1.0	15.00	1	0.9
U	1.0	22.30	1	0.9

A consideration on workability of premixed lime plaster

Ryo TANAKA, Makoto SYOJI, Kanta HARA, Kaori NAGAI

として、幅（ H ）を変化させたものを用意した。Photo.3.1より石こうボード上に JIS A 6916（保水性試験）で用いるリングを置き、試験体30gを入れた。くしを引く速度は1秒間につき、10mmの速さとして石こうボードに対して10°の角度に引き延ばし、くし引きの長さ I を測定した。

2.4 調合原料の元素推定

分析試験の概要をTable.2.3に示す。各試験体に含まれる原料は各地域で算出された天然材料の消石灰をはじめ、練り混ぜや塗り付けやすさ等の施工性を良くするために化学材料が含まれる場合もある。そこで、原料の差異を確認するため、蛍光X線分析による元素の推定を行った。分析は、各試験体30gずつ、乾燥させて粉末状としたものをホルダーに収めてプレスし、分析用に試験体を作成した。検出された元素に対して百分率で示し、合計で100%となる定性分析を実施した。

2.5 塗り付け試験

試験概要をTable.2.4に示す。塗り付けて施工した際の相対評価として試験を実施した。評価は3項目に分類して調合、塗り付け、仕上げのそれぞれから総合的に評価する方法とした。調合は練り混ぜやすさや練り混ぜにかかる時間を、塗り付けは鏝や鏝台の操作性及び下地ボードへの塗り付けの難易度を、仕上げは鏝で用意に平滑に仕上げることができ、乾燥後にヒビや割れ

が起きにくいかをそれぞれ4段階で評価した。下地となる石こうボードに対して、1.0×1.0mの範囲に鏝で押さえつけるようにして全体に均一に塗り付けを行った。ただし、試験体J、Kは塗料に近いしっくいであったため、刷毛を用いて塗り付けを行った。既に水が配合され、練りの状態となっている試験体については調合の評価は「なし」として評価をした。塗り付け時、推奨される標準塗厚を参考にグラム換算した試験体量を塗り付けた。

3 試験結果及び考察

3.1 フロー試験

フロー試験の結果をFig.3.1に示す。試験体G、H、J、Kは非常に流動性が高く、24時間後まで試験ができず、48時間後には硬化が始まったため、測定は計測不能としてフロー値0mmとした。練り混ぜ後、初期の測定結果について、天然の原料を多く配合していると思われる試験体B～E、I、L、Rは試験時に他の試験体に比べ流動性が低く、フロー値200mmを下回る傾向にあった。対して、試験体A、F、M、Tは流動性が高く、フロー値200mmを超える傾向となった。練り混ぜ後0～1時間まではフロー値に大きな変化はみられず、24時間が経過した頃よりフロー値が低下する試験体がみられた。低下量は最大で約45mm、低下せず、僅かにフロー値が増加した試験体もみられた。

今回測定をした試験体のフロー値は調合される原料によって大きく変化すると思われ、約100～300mmの



Photo.3.1 Comb length test process

Table.2.2 Comb length test Overview

くしの種類	寸法 (mm)		備考
	W	T	
①	5	10	くしの間隔はWと同様とする
②	7		
③	10		

Table.2.3 Elemental analysis test summary

試験条件	X線照射	照射強度	照射管球	試験体	
エネルギー分散型 蛍光X線分析 (P社製卓上分析機)	22min	50kV	Ag	厚さ	3.0mm
				測定量	5.0g

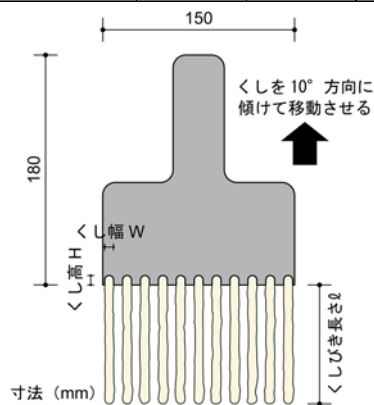


Fig.2.1 Comb length test outline

Table.2.4 Evaluation items for workability

評価	施工性		
	練り混ぜ	塗り付け	仕上げ
A	短時間（約2分）で練り混ぜ均等サラサラしている	鏝・下地ボードにのりやすい 少し粘り気あり	非常にきれいな仕上がり 簡単に仕上げる ことができる
B	中時間（約5分）で練り混ぜ均等 少し粘り気があり	鏝・下地ボードにのりやすい サラサラしている	凹凸の影響なし 簡単に仕上げる ことができる
C	長時間（約10分）で練り混ぜ均等 ダマに注意	鏝・下地ボードにのりにくい 鏝より材料が落ちやすい	凹凸の影響あり 鏝の操作に影響される
D	練り混ぜに非常に時間がかかる ダマができやすい	乾燥が早く 塗り付けに技術を要する	塗り方によって ヒビ・割れが 入りやすい

非常に広い範囲で、静置する時間の経過とともにフロー値が減少しながら推移する結果となった。

3.2 くし引き長さ

Table.3.1に各くし幅による試験結果を示す。くし幅5mmのくし引き長さ、試験体B～E、H、L、N、O、Pはすさの量が多く、くしに引っ掛かり正確な計測ができなかったため、計測値を0mmとした。くし幅別の測定は、W=7mm、10mmともにすべての測定を行うことができた。ただし、W=5、7mmでの測定時は試験体によって、くしの部分にすさが引っ掛かりやすく、くしを引ききった時にしっくいやすさがくしの部分に僅かに残存しやすい結果となった。また、試験体G、H、J、Kは非常に流動性が高く、金属製のリングを外した直後から広がりはじめため、間を置かず、測定する必要があった。くしへの引っ掛かりがなく、最も安定して試験を実施できたくし幅は10mmであった。くし幅7mmの測定結果と比較すると本来であれば、くし幅の広い10mmの測定結果はくし引き長さが短くなる傾向にあるはずだが、反対に大きい結果となった。これは、

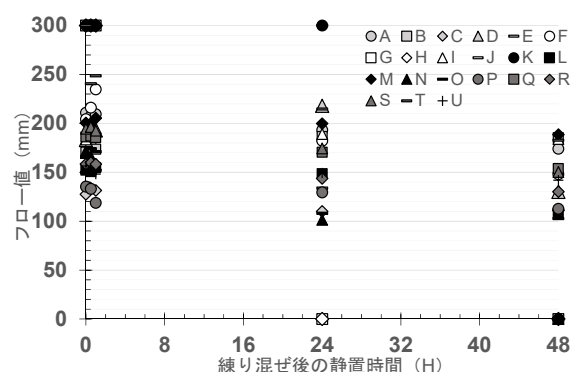


Fig.3.1 Transition of flow value standing time

5、7mmでは引っ掛かっていたしっくいやすさが綺麗にくし引きの後を形成したため、今回のような測定結果になったと考えられる。

3.3 塗り付け性状

Table.3.1に塗り付けの試験結果を示す。試験体計21体中、総合評価Aが12体、Bが9体の評価結果となった。調合の評価について、現場調合と練り製品の2種類に分かれ、中でも現場調合のしっくい、試験体A～F、I、Lはすさや化学繊維状の原料が含まれていた。これらのしっくいは攪拌機で均等に練り混ぜるまでに他のしっくいに比べて時間が掛かりやすく、目視で均等に練り混ぜられたことを十分に確認する必要があった。練り製品や粉末状の原料だけで構成されるしっくい、試験体G、H、J、K、M～Uは短時間で調合することができた。塗り付けの評価について、ペースト状または塗料に近い液体状のしっくいに分類することができ、ペースト状のしっくい、試験体A～F、I、L、R、T、Uはすさ等の繊維状の原料が含まれており、鏝や塗り面へ付

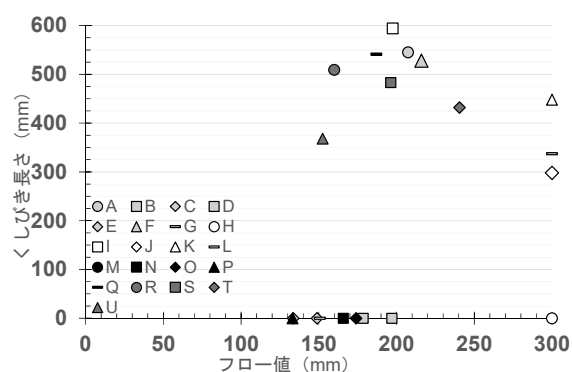


Fig.3.2 Results by Comb length test (W=5mm)

Table.3.1 Results by Comb length test and Workability and Elemental analysis

試験体名	フロー値 0.5H測定	施工性 (練り混ぜ0.5H後)				くし引き長さ (mm)			元素別含有量 (%)					
		総合評価	練り混ぜ	塗り付け	仕上げ	5mm	7mm	10mm	Ca	Cl	Fe	S	その他元素	
A	207.4	B	A	B	B	545	214	254	99.502	0.102	0.071	0.089	Si	0.130
B	178.5	B	B	B	B	0	289	608	99.372	0.220	0.074	0.233	Sr	0.052
C	133.5	B	B	A	B	0	263	573	99.510	0.095	0.025	0.221	Sr	0.100
D	197.0	B	B	B	B	0	366	563	99.548	0.271	0.028	0.083	Sr	0.032
E	148.9	B	-	B	B	0	321	596	99.477	0.415	0.028	-	Sr	0.033
F	216.0	B	B	B	B	528	320	402	99.691	0.038	0.065	0.074	Sr	0.108
G	300.0	A	A	B	A	337	292	428	99.776	-	0.030	0.048	Sr	0.108
H	300.0	B	A	B	C	0	311	461	99.809	0.004	0.034	-	Sr	0.118
I	197.5	B	-	B	C	594	369	283	99.423	0.103	0.076	0.084	Si	0.185
J	300.0	A	-	A	A	298	208	240	96.336	0.008	0.051	0.079	Ti	3.386
K	300.0	A	-	A	A	448	243	293	99.736	0.008	0.056	0.083	Sr	0.067
L	150.7	B	B	B	C	0	413	443	79.254	0.041	1.420	0.190	Al Si Ti	2.112 7.223 8.690
M	200.0	A	A	B	A	603	312	279	98.471	0.691	0.067	0.096	Si	0.578
N	165.8	A	A	A	A	0	196	201	75.905	0.045	1.818	1.584	Al Si	2.191 17.804
O	174.0	A	A	A	A	0	172	183	80.562	-	1.724	0.894	Al Si K	2.258 14.068 0.250
P	133.1	A	-	A	A	0	331	309	99.123	0.507	0.038	0.051	Si	0.173
Q	187.0	A	-	A	A	541	243	258	99.739	0.028	0.099	-	Sr	0.080
R	159.9	A	-	A	A	509	314	213	99.330	0.028	0.135	0.090	Si	0.256
S	196.3	A	-	A	A	483	251	232	95.703	-	0.099	-	Si	0.132
T	240.5	A	A	A	A	432	301	173	99.394	0.072	0.062	0.112	Si	0.237
U	152.5	A	A	A	A	368	169	318	99.762	0.001	0.063	0.065	Sr	0.041

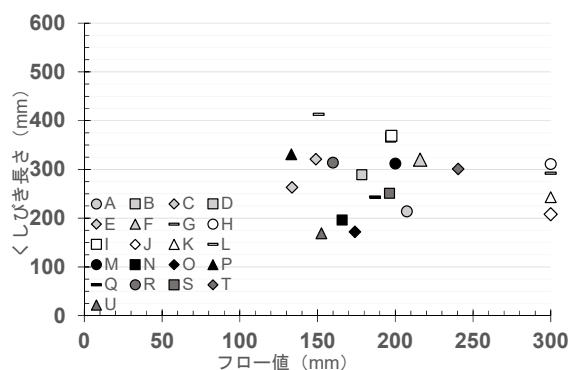


Fig.3.3 Results by Comb length test (W=7mm)

着しやすく、鰻の操作性は良い結果であった。液体に近いしっくい、試験体G、H、M、Q、R、Sは水量が前者のしっくいに比べて非常に多く、垂れやすさを考慮して、少量のしっくいを鰻に載せた上で作業をする必要があった。仕上げの評価について、調合の評価に影響される傾向にあった。ペースト状のしっくい、特に試験体D、E、I、Lはすさが多く含まれていたため、仕上げ面を平滑に仕上げる時間を要する傾向にあった。試験体Hは、塗り方や乾燥時の環境条件によってはヒビや割れが発生しやすい結果であった。対して、液体に近いしっくいは仕上げに要する時間が比較的短く、容易に仕上げる事が可能であった。

3.4 フロー値と塗り付け性状

Table.3.1にフロー値と塗り付け試験の結果を示す。既往の研究²³⁾では本しっくいなどの天然の原料だけを用了しっくいはフロー値が高い程、施工性は難しくなる評価であったが、本試験で用いた既調合しっくいは工場ですみ調合されていること、地域により材料が異なるため、フロー値と施工性の評価に相関はみられなかった。試験に用いたしっくいの中でも天然原料の割合が多いと考えられるしっくい、すなわち試験体A~E、Lはフロー値が低い結果であっても、仕上げに要する鰻の操作が難しくなる傾向を示した。

3.5 フロー値とくし引き長さ

Fig.3.2~3.4に各くし幅によるフロー値とくし引き長さの結果を示す。フロー値の結果は練り混ぜ後、0.5時間経過後の測定結果を比較した。くし幅W=5mmでのフロー値とくし引き長さの相関はみられなかった。フロー値が最も多く分布している約150~200mmの範囲では約600mmが最長、約330mmが最短のくし引き長さの測定結果であった。フロー値が約300mm付近ではくし引き長さ約300~450mmでの推移であった。W=7mmでの相関関係は前述と同じく確認できなかったが、くし引き長さは約169~413mmの範囲で推移していた。W=10mmでの測定結果も同様となったが、W=7mmの測定時よりもくし引き長さの範囲が広がり、各試験体によるくし引き長さの関係は変わらない傾向にあった。これより、くし幅7、10mmでさらに測定方法を再考することが望ましいと考える。

3.6 調合原料の元素推定

Table. 3.1に分析試験の結果を示す。主成分である消石灰Caの含有量は、約99%であった。ただし、試験体L、N、OはCaの含有量が約75~80%の範囲で推移しており、AlやFe、Siなどの金属元素が多く含まれていた。これより、既調合しっくいは天然材料であることと、

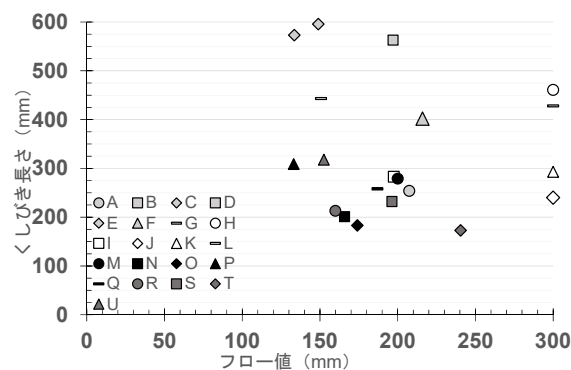


Fig.3.4 Results by Comb length test (W=10mm)

化学接着材が含まれるため、しっくいの種類によって、Ca以外のAlやSiなどが多く検出されたと考えられる。

4 まとめ

本報告により得られた知見を以下に示す。

- (1) フロー試験結果は調合される原料によってフロー値は大きく変化すると思われ、約100~300mmの広い範囲となり、静置する時間の経過とともに僅かに減少していく結果となった。
- (2) くし引き長さの試験結果は、くし幅5mmでの測定は的確な測定結果が得られず、今回の測定では10mmでの測定がしっくいやすさの引っ掛かりがなく測定が可能であることがわかった。
- (3) 塗り付け性状はすさなどの繊維状原料の含まれるしっくいは練り混ぜから仕上げまでの施工に要する操作は難しい傾向にあった。対して流動性の高いしっくいは塗り付け時に垂れることが無いよう注意する必要があった。
- (4) フロー値と塗り付け性状の比較では本しっくい³⁾と異なり、フロー値が低い結果であっても、仕上げに要する鰻の操作が難しくなりやすい傾向にあった。
- (5) フロー値とくし引き長さについては、相関関係はみられなかった。今後、試験器具の検討を行い、鰻の操作性と相関がとれるような方法を更に考案する予定である。

【謝辞】

本報告にあたり材料の提供をいただきました日本漆喰協会及び各メーカー様にここに記して感謝の意を申し上げます。

【参考文献】

- (1) 桑島浩恵ら：漆喰の性質に及ぼす原材料の品質および調合の影響，日本建築学会関東支部研究報告集，2005，pp77-80
- (2) 建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事，日本建築学会，2009，pp205-235
- (3) 田中良ら：しっくい材料の保水性試験による性能評価の可能性，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），2019，pp1331-1332
- (4) 田中良ら：しっくいの硬化過程における保水性と質量の変化，2018 年度日本建築学会関東支部研究報告集，2019，pp181-184
- (5) 沢辺大輔ら：既調合しっくいの性能評価に関する考察 その2. 既調合しっくいの基本性能，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），2015，pp803-804