

左官材料の炭酸化と物性に関する研究

－その1 表面硬度と質量の関係－

日大生産工 ○田中 良 戸田建設 寺崎 慎吾
 フジタ 早川 宗一郎 日本左官連 鈴木 光
 日大生産工 永井 香織 日大生産工 松井 勇

1 はじめに

しっくいとは消石灰を主原料として、これに水やすさと呼ばれる天然繊維、のり、砂などを加えて作られる左官材料である。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が、しっくいの主成分となる水酸化カルシウム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、施工後は硬化するまでに長い年月を要する。建築様式の近代化によって、建材として用いられる機会は少なくなっている。近年ではホルムアルデヒドの吸着分解機能やカルシウムを主成分とした調湿性能に優れること、脱臭や自浄作用があることから住環境を整えてくれる材料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い。今後、建造物の維持保全として利用する為にも改修が必要になってくることを踏まえれば、左官材料の物理的性質を把握しておく必要があると考える。しかしながら、当時の調合を再現する際、しっくいを自然環境下で炭酸化させるには非常に長時間の養生が必要となる。そこで、本報告では早期に炭酸化を完了させ、仕上塗材の違いによる物性について確認することを目的とし、表面硬度と質量の関係について述べる。

2 試験方法

2.1 試験体概要

試験体の概要を表1に、各塗り仕上げの調合概要を表2に示す。試験体は日本建築学会 JASS15左官工事¹⁾に記載されている左官材料5種類に加え、歴史的建造物に使用されている明治期と大正期のそれぞれ4種類²⁾ずつ、計9種類とした。

試験体の寸法は図1に示すせっこうラスボードを下地としてその上に90×90×20mmとな

表1 試験体概要

No.	塗り仕上げの種類	備考
1	せっこうプラスター仕上げ	JASS15 左官工事 指定材料
2	ドロマイトプラスター仕上げ	
3	本しっくい塗り仕上げ	
4	土佐しっくい仕上げ	
5	既調合しっくい塗り仕上げ	
6	普通平しっくい	明治期
7	南蛮しっくい	
8	屋内しっくい塗り（本邦式）	大正期
9	屋内しっくい塗り（欧米式）	

表3 養生条件

養生期間	打設後7日間	打設後7日間～84日間（養生終了時）	
養生条件	温度：20℃ 湿度：60%	① 気中養生	温度：20～25℃
		② 炭酸化促進養生	温度：20～21℃ 炭酸ガス濃度：5±0.2%

表2 しっくい調合材料概要

No.	塗り仕上げの種類	質量比											フロー値 (mm)	
		現場調合 プラスター	ドロマイト プラスター	土佐 しっくい	既調合 しっくい	消石灰	塩焼き灰	貝灰	角又	セメント	すさ (白雪)	すさ (マニラ)		水
1	せっこうプラスター仕上げ	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30	118
2	ドロマイトプラスター仕上げ	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.48	121
3	本しっくい塗り仕上げ	-	-	-	-	1	-	-	0.025	-	0.020	-	1.04	154
4	土佐しっくい仕上げ	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	111
5	既調合しっくい塗り仕上げ	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0.62	160
6	普通平しっくい	-	-	-	-	-	0.43	1	0.05	-	0.04	-	1.43	128
7	南蛮しっくい	-	-	-	-	-	1	1	0.09	-	-	0.08	1.95	101
8	屋内しっくい塗り（本邦式）	-	-	-	-	-	1	-	0.02	-	0.02	-	1.16	139
9	屋内しっくい塗り（欧米式）	-	-	-	-	4	-	1	-	1	0.16	-	5.26	114

Study on carbonation and properties of plaster materials

－ Part 1 Relationship between surface hardness and mass －

Ryo TANAKA, Shingo TERASAKI, Syuitiro HAYAKAWA,
 Ko SUZUKI, Kaori NAGAI and Isamu MATSUI

る試験体を作製した。練り混ぜはタフネと左官鍬を用いて、粉体に少量ずつ水を加えて練り混ぜを行った。また、練り混ぜたものを30分間寝かせ、その後フロー値が130～150mmになるように調合を行った。打設について、せっこうラスボードとの接着性を上げる為、はじめに1～3mm塗り、約30分間静置した後その上に規定の高さまで打設を行った。

表3に養生条件を示す。室温20℃、湿度60%の部屋に7日間養生した。その後、中性化促進試験装置と屋内の2水準で養生を行った。

2.2 質量変化試験

試験体は図1に示す試験体寸法で各種しゅくい塗りされた試験体を使用した。デジタル測り（A社製 EK-3000i）を用いて質量増減を測定した。測定は1種類につきn=3とし、その平均値を用いた。

2.3 表面硬度試験方法

図1に表面硬度試験の測定位置を示す。測定はリバウンド法ポータル硬さ計（G社製 Dyna POCKET Plus）を用いて反発硬度の測定を行った。測定箇所は1試験体につき5箇所とし、各箇所n=3の計15点の平均を測定結果とした。

3 試験結果及び考察

3.1 質量変化試験結果

(1) 気中養生

図2に気中養生による84日間の質量変化を示す。打設後より7日間ですべての試験体が平均して約50～110gの減少であった。7～28日間にかけては質量の増減はほとんどみられなかったが、28～42日間では約7.2%程度の質量が増加した。はじめの質量減少時は水分が蒸発し、一定期間後の質量増加はしゅくい主成分の水酸化カルシウムが空気中の二酸化炭素を吸収したことが影響していると考えられる。

試験体別で質量増減の大きい日数を比較すると0～7日間で試験体No.3が最大で約42%の減少率、試験体No.1が最小で約15%の減少率

であった。その他の試験体は平均して約30%の減少率であった。試験体No.3は他の試験体より水分の吸収がよく、その分二酸化炭素との反応が大きかった為、質量増減の一番大きい試験結果になったと考えられる。

これより、気中養生での質量増減は打設から42日程度で一定となる結果であった。

(2) 炭酸化促進養生

図3に炭酸化促進養生による84日間の質量変化を示す。気中養生による試験結果と同様で0～7日間で質量減少している。その後、7～14日間で試験体No.1を除いて、約3～30gの質量が増加した。気中養生に比べて炭酸化が速く促進されたことから21日目で質量がほぼ一定となっている。気中養生の日数と比較すると炭酸化促進養生7～14日目は、約11.6%の質量増加で気中養生28～42日目に相当すると思われる、炭酸化の日数は非常に短くなったことが推定される。

養生日数0～7日間で質量増減は試験体No.3が最小で約15%の減少であった。気中養生時とほぼ同じ増減の結果となった。但し、試験体No.9については0～7日間の質量減少がみられないまま、7～14日間で質量が増加する結果と

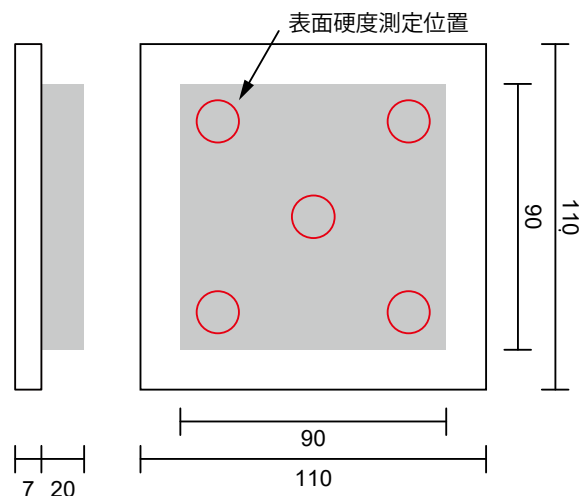


図1 表面硬度測定方法

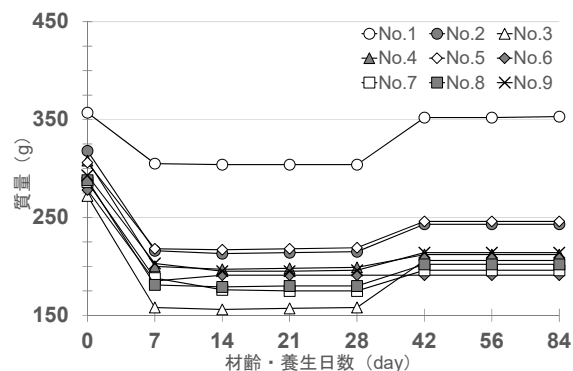


図2 気中養生・質量と材齢

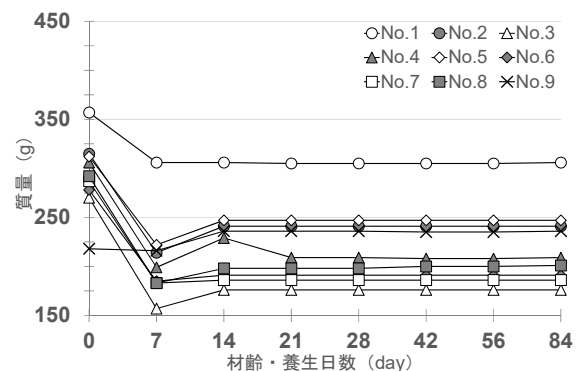


図3 炭酸化養生・質量と材齢

なった。推定される要因として、他の試験体に比べて水分の増減に影響されことなく炭酸化が進行したのではないかと考えられる。

これより、炭酸化促進養生での質量増減は打設から14日程度で一定となることがわかった。また、養生時はじめの質量減少時のピークは7日目より前後の日数であったと考えられる。

(3) 打設後～養生10日間での質量変化率

図4に打設後10日間まで1日間隔で測定した質量変化率を示す。前述の試験結果をもとに質量変化の大きい初期の養生日数を再現試験により把握するものとして試験を実施した。試験体は1種類につき、 $n=4$ とした。0日目では試験体No.3が218.88g、試験体No.5が192.18gであった。質量がほとんど変化しなくなる7日目では試験体No.3が183.55g、No.5が225.gであった。打設後から7日目まで、1日あたり平均して試験体No.3が約14.81g、試験体No.5が約13.09gの質量減少であった。但し、質量減少率の推移は1日目が最も大きく約9～12%であり、2～5日目までは一定した減少率で約5～7%であった。6～10日目において質量減少は約2.0g以下となり、最も質量が減少するのは7～8日間であることが結果としてわかった。

これより測定日0日目と10日目ともに本しっくい質量減少率が大きい結果となった。

試験体の表面状態を表4に示す。試験体No.3は養生5日目、試験体No.5は養生4日目より軽く指で触って表面が凹まない状態であった。

3.2 表面硬度試験結果

(1) 気中養生

図5に気中養生による反発度試験結果を示す。打設直後を0HLとして、7日目で約200～300HLの硬度が得られた。その後、7～84日間に約51HL程度の硬度が増加した。その期間中、最大増加は試験体No.8で90HL、最小増加は試験体No.3で6HLであった。84日目にはいくつかの試験体において硬度が減少しはじめており、打設後より56日には硬度は最大になっていたことが試験結果よりわかった。

(2) 炭酸化養生

図6に炭酸化促進養生による反発度試験結果を示す。打設後より42日間まで硬度は増加し続け、42～84日間にかけてはわずかに減少する傾向となった。7日目より最大硬度に達するまで、最も増加が大きかったのは試験体No.2

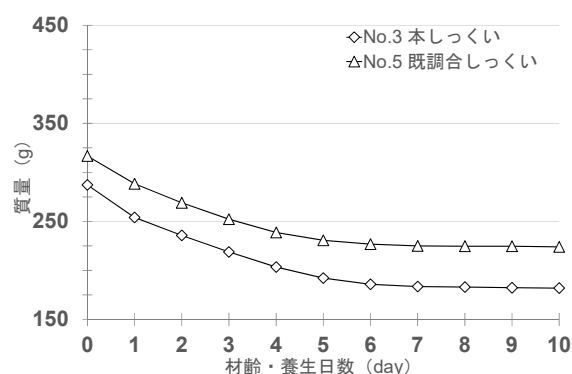


図4 0～7日間における質量推移

表4 0～7日間における各試験体の乾燥状態

気中養生・既調合しっくい		気中養生・本しっくい	
0日目	10日目	0日目	10日目

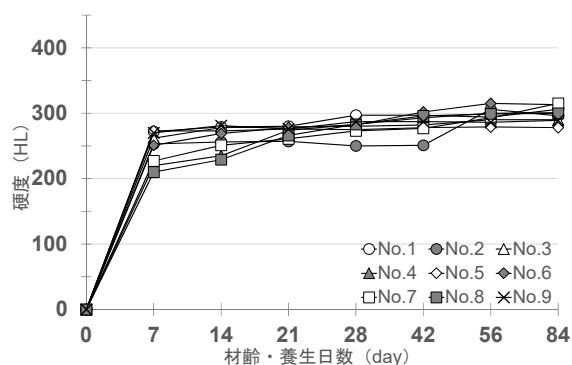


図5 気中養生・硬度と材齢

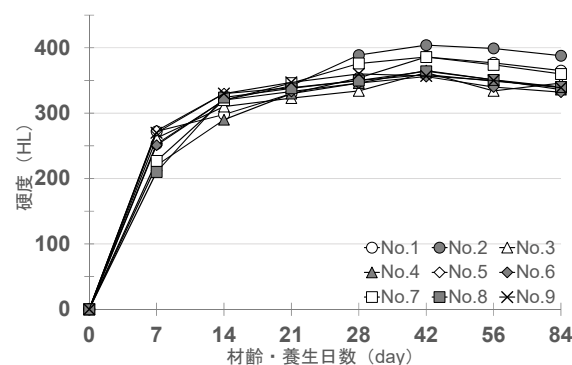


図5 炭酸化養生・硬度と材齢

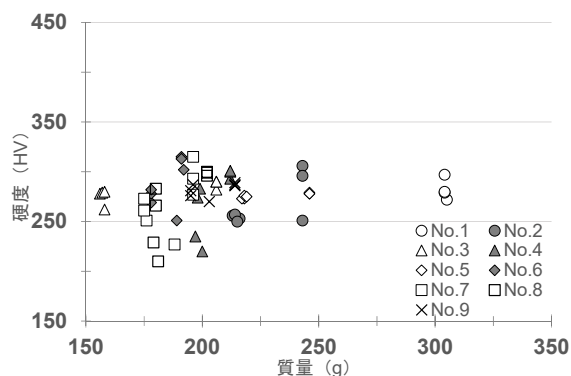


図7 気中養生・硬度と質量

で135HL、逆に小さかったのは試験体No.6で67HLであった。いずれの試験体も約25%以上の硬度増加であった。気中養生と比較して同じ試験体の増加は同じとなる傾向はみられず、練り混ぜ方や材料の状態によって硬度は簡単に变化してしまうと推定する。硬度の測定値で養生日数を比較すると、炭酸化養生7～14日目が気中養生21～42日目に相当するのではないかと考えられる。

今回の試験結果より最大の表面硬度が得られた28～42日目³⁾に炭酸化が完了したのではないかと推定する。

3.3 硬度と質量の関係

(1) 気中養生

気中養生による硬度と質量の関係を図7に示す。質量の増減に関わらず、すべての試験体において約200～350HLの硬度で推移している。また、試験体No.3やNo.5は質量の増減率が大きいにも関わらず、硬度の増減率はあまり大きくならない傾向であった。

これより、気中養生において質量と硬度の相関ははっきりとはみられなかった。

(2) 炭酸化促進養生

炭酸化促進養生による硬度と質量の関係を図8に示す。炭酸化の進行が速い為、硬度の変化率は大きい、図3を参考に質量の変化は養生日数7日目以降でほとんどないことがわかる。気中養生に比べて硬度は高い傾向にあり、硬度は約350HL付近で主に推移している。

これより、炭酸化促進養生は質量増減が小さくなった後、硬度は徐々に増加する傾向にある。

4 まとめ

本報告により得られた知見を以下に示す。

- (1) 気中養生での質量増減は打設から42日程度で一定となることがわかった。
- (2) 炭酸化促進養生での質量増減は打設から14日程度で一定となることがわかった。また、養生時はじめの質量減少時のピークは7-8日目であったことがわかった。

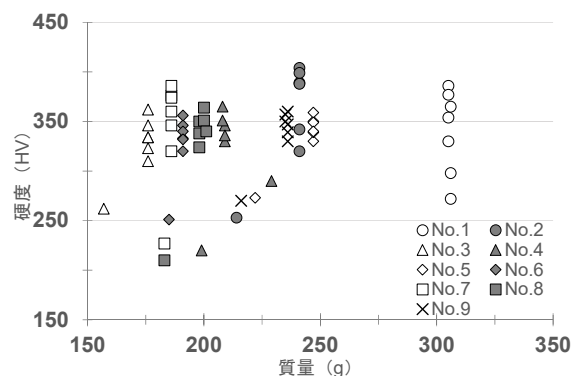


図8 炭酸化養生・硬度と質量

- (3) 0～7日間の質量減少時は水分が蒸発し、一定期間後の質量増加はしつくい主成分の水酸化カルシウムが空気中の二酸化炭素を吸収しはじめたと考えられる。
- (4) 気中養生における初期の質量減少は本しつくい約4.4%、既調合しつくいは約3.3%であることがわかった。
- (5) 気中養生において打設後より56日に硬度は最大になったことがわかった。
- (6) 炭酸化促進養生において最大硬度が得られた28～42日目に炭酸化が完了したのではないかと推定する。
- (7) 気中養生において質量と硬度の相関は、はっきりとはみられなかったが、炭酸化促進養生においては炭酸化のスピードが影響して質量の増減が小さくなれば硬度は徐々に増加していく傾向にあった。

【謝辞】

本報告にあたり、左官材料の提供をいただきました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) 日本建築学会：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
- 2) 日本左官業組合連合会：左官施工法 2013，日本左官業組合連合会，2013，pp80
- 3) 内村陽介，本橋健司，八木沢敬良：しつくい及びしつくい塗料の中性化挙動，日本仕上学会2011年大会学術講演会，2111，pp101-104
- 4) 栄枝長男・藤原正道・関田寿一：消石灰を基材とした酸化硬化体の経年劣化，石膏と石灰 No.174，1981，pp25・28
- 5) 桑島浩恵・興石直幸：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
- 6) 鈴木光・吉田倬郎・三原斉：明治期の左官等級と現状への再現性の研究，日本建築学会大会学術梗概集（北陸），2010，pp455・456
- 7) 難波蓮太郎：漆喰の効用と復権，一般財団法人 建築研究振興協会機関誌「建築の研究」，2013，216・219号