加熱後の ALC パネルの各種強度性状及び各種塗布材による強度回復効果

VARIOUS STRENGTH PROPERTIES OF ALC PANEL AFTER HEATING AND EFFECT OF STRENGTH RECOVERY BY SPREADING MATERIALS

遠藤利二 — * 1 橘高義典 — * 2
水谷吉克 — * 3

Toshiji ENDO — * 1 Yoshinori KITSUTAKA — * 2
Yoshikatsu MIZUTANI — * 3

キーワード：
軽量気泡コンクリート, 加熱, 接着強さ, 圧縮強度, 曲げ強さ

Keywords:
ALC, Heating, Adhesion, Compressive strength, Bending strength

From the standpoint of the maintenance and management of ALC-buildings, the ability of ALC panel to be reused after being subjected to fire is likely to become an important issue. In the research described here, the adhesion in tension, compressive strength and bending strength of ALC panel after heating was studied. Moreover, the effect of strength recovery by spreading materials were studied. As a result, the effect of the strength recovery was confirmed.

1. はじめに

耐火性能に優れた建材として建築物の屋根、床及び壁材として ALC パネルは幅広く用いられている。ALC 建築物の維持・保全の観点から、例えば隣家の火災等により外壁に用いた ALC パネルが被災し、外観上パネル表面がすすけたり、若干の変色が生じたような、比較的軽度と思われる被災の場合には、補修・改修コストの低減を図るため、パネルを張り替えることなく継続して使用できるかどうかの可否判断を求められることが少なくない。これまでに筆者らは、火災を想定した加熱と ALC パネルの曲げ強さとの関係を実験により確認し報告¹⁾しているが、熱影響を受けたパネル素材の強度性状を明らかにすることもまた、被災後の継続使用の可否判断を行う上で、必要と考えられる。そこで、本報においては、火災を想定し、建築基準法に規定される耐火性能試験に準じた加熱を ALC パネルに行い、加熱時間とパネル加熱面の接着強さ及びパネルから切出した ALC 素材コアの圧縮強度との関係を確認した。更に、加熱により劣化した ALC パネルの、各種強度回復のための基礎的実験として、10 分間加熱した後の ALC パネルにアクリル系及びエポキシ系の塗布含浸材並びにセメント系の下地調整材（以後、各種塗布材とする）をそれぞれ塗布し、パネル面の接着強さ、ALC 素材コアの圧縮強度及びパネルの曲げ強さ試験を行い、その強度回復の適用効果を確認した。

2. 試験用 ALC パネルの仕様及び加熱方法

2. 1 ALC パネル

試験に用いた ALC パネルの品質は、JIS A 5416（軽量気泡コンク

リートパネル）に適合するもので、ALC 素材の圧縮強度は約 4.7 N/mm^2 、密度は約 500 kg/m^3 である。ALC パネルの寸法及び補強筋の配置状況を図 1 に示す。主筋の配置をパネル表裏面で各 3 本とし、パネル面に対して正・負の強度的な方向性を等しくしたものである。尚、パネル A 側及び B 側の主筋の配置バランスが異なっているが、配筋量は一定であり、同等の曲げ性能のパネルとした。

図 1 ALC パネルの寸法及び補強筋の配置状況

2. 2 ALC パネルの含水率

加熱前に ALC パネルの含水率が質量比で 5% 以下となるように、パネルをボイラーによる温風循環型の乾燥炉内（乾燥温度 $40^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ）で、パネル重量が 73kg となるまで乾燥した。乾燥後の ALC パネルの重量は、予め測定した ALC 素材の絶乾状態のかさ密度（約 500 kg/m^3 ）と、補強筋及びその防錆材の重量（合計約 3 kg）から算出した。

¹⁾ クリオン(株)建築技術部
(首都大学東京大学院都市環境科学研究科 社会人博士課程・工修)
(〒488-0052 愛知県尾張旭市下井町下井 2035 番地)

²⁾ 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 教授・工博

³⁾ クリオン(株)建築技術部

¹⁾ Building Engineering Dept., Clion Co., Ltd.

²⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Graduate School of Environmental Science, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.

³⁾ Building Engineering Dept., Clion Co., Ltd.

2. 3 加熱方法

ALC パネル 3 体を、図 2 に示すように加熱用鋼製フレームに取り付け、昇温履歴及び炉内圧を自動制御可能な耐火炉（内寸は高さ 2075mm、幅 2036mm、奥行き 700mm）を用いて、ISO834 に規定する標準加熱温度曲線に従い、10 分、20 分、30 分、40 分、60 分、120 分及び 180 分間の加熱を行った。表 1 に加熱水準を示す。尚、パネル裏面の長さ及び幅中央に K 熱電対を取り付け、パネルの裏面温度を測定した。又、図 3 に ISO834 の標準加熱温度曲線、加熱時間の経過に伴う炉内温度およびパネル裏面温度を、加熱時間 60 分の場合を例に示す。加熱後、ALC パネルを取り付けた状態で鋼製フレームを、炉内温度が 100℃以下となると共に、ALC パネル裏面温度が下降し始めたことを確認した後に耐火炉から取り外した。加熱後の ALC パネルは触手により、パネル温度が室温まで下がったと判断した後に鋼製フレームから取り外した。

2. 4 各種塗布材の塗布

10 分間の加熱を行った ALC パネルの加熱面に、パネル温度が室温まで下がった後、耐火試験用鋼製フレームにパネルを取り付けた状態で、ALC パネルの経年劣化用やコンクリートのひび割れ補修材として用いられている各種塗布材を塗装用ローラを用いて塗布した。塗布量は一連の塗布作業において、アクリル系及びエポキシ系の塗布含浸材は ALC パネル面からその内部に浸透しなくなるまでとし、セメント系の下地調整材は塗面から垂れ始める直前までの塗布作業上可能な量とした。表 2 に各種塗布材の種類及びその主な仕様並び

図2 ALC パネルの加熱用試験体

加熱No.	加熱時間 (分)	加熱最高温度 (℃)
1	0	-
2	10	678
3	20	781
4	30	842
5	40	885
6	60	945
7	120	1049
8	180	1110

図3 ISO834 の標準加熱温度曲線及び炉内昇温状況

表 2 各種塗布材の種類及び仕様並びに塗布量

塗布材 種類	アクリル系 〔特殊アクリル樹脂エマルジョン〕	セメント系 〔セメント系下地調整材〕	エポキシ系 〔硬化1液形エポキシ樹脂〕
仕様	比重：約1.01 固形分：約10%	水/調整材：48%（重量比） 成分：白色セメント70% 細骨材30% その他着色・添加剤	硬化剤：湿気硬化型 硬化物比重：1.15±0.05
塗布量 (kg/m ²)	0.80	1.30	0.76

に塗布量を示す。塗布後 28 日間、試験場建屋内にて静置した。

3. 試験方法

3. 1 接着強さ試験

ALC パネル現場タイル張り工法指針（案）・同解説²⁾の接着強さ試験に準じ、建研式接着力試験機を用いて、各時間加熱した後の ALC パネル加熱面の接着強さ試験を行った。又、10 分間加熱した後、加熱面に各種塗布材を塗布してから 28 日経過後の接着強さ試験も同様に行った。荷重速度はほぼ 20 N/s 一定とした。尚、試験方法として接着強さ試験を用いているが、得られる結果は ALC そのものの引張り強さである。しかし、便宜上この試験値を接着強さと表現する。接着強さ試験の概要を図 4 に示す。

3. 2 圧縮強度試験

各時間加熱した後の ALC パネルから、ALC 素材コアをパネルの補強筋を避けて切出し、JIS A 5416（軽量気泡コンクリートパネル）に準じて圧縮強度試験を行った。又、10 分間加熱した後、加熱面に各種塗布材を塗布してから 28 日経過後の圧縮強度試験も同様に行った。図 5 に圧縮強度試験の概要を示す。

3. 3 曲げ強さ試験

JIS A 5416（軽量気泡コンクリートパネル）に従って、10 分間加熱後の ALC パネル及び、パネル加熱面に各種塗布材を塗布してから 28 日経過後のパネルの曲げ強さ試験を行った。試験では荷重の載荷方向に対して ALC パネルの加熱面を向けた場合を正圧方向、裏面を向けた場合を負圧方向と区別し、正圧方向及び負圧方向それぞれ各 1 体を試験に供した。図 6 に ALC パネルの曲げ強さ試験の概要及びたわみ測定位置を示す。

図4 接着強さ試験の概要

図5 圧縮強度試験の概要

図6 曲げ強さ試験の概要及びたわみ測定位置

4. 試験結果及び考察

4. 1 接着強さ試験の結果及び考察

加熱時間毎の接着強さは平均値を用いた。又、全ての接着強さ試験箇所での破断状況は ALC の母材破断であった。尚、ALC パネルの加熱面には亀甲状のひび割れが生じており、加熱時間の増加に伴って大きくなる傾向にある。加熱時間が 180 分の場合には、ALC パネル加熱面のひび割れが激しく、接着強さ試験を行えなかった。

図 7 に、各時間加熱した後の、ALC パネル加熱面の接着強さ試験の結果を示す。加熱時間の増加に伴い接着強さは低下する傾向にある。加熱時間 40 分でほぼ一定となり、接着強さは非加熱パネルの値から約 61% 低下した 0.30 N/mm^2 となる。加熱時間 10 分においては約 0.45 N/mm^2 で、非加熱パネルの接着強さから約 42%、20 分加熱では約 0.35 N/mm^2 で約 55% 低下している。接着強さに関しては、例えば ALC パネル現場タイル張り工法指針（案）・同解説における試験結果の判定では、破断位置が全て ALC パネル母材でかつ接着強さの平均値が 0.4 N/mm^2 以上を合格としている。接着強さの平均値が 0.4 N/mm^2 を超える値となるのは、加熱時間 10 分である。

図 8 に、10 分間加熱後の ALC パネル加熱面に、各種塗布材を塗布し、28 日経過後の接着強さ試験の結果を示す。尚、各図には比較として非加熱及び 10 分間加熱した場合の試験値を併記した。10 分間の加熱で接着強さは約 0.78 N/mm^2 から 0.45 N/mm^2 に低下するが、各種塗布材を塗布することにより、接着強さは約 0.54 N/mm^2 と、20% 程度回復している。非加熱パネルの接着強さまでには回復していないが、本試験に用いた各種塗布材はその種類に関わらず、接着強さの回復効果が確認できた。又、各種塗布材による接着強さの回復の対象を 10 分間加熱したパネルとしたが、他の加熱時間のパネルにおいても効果のあるものと推察する。但し、加熱時間によって回復効果が変わったり、塗布材の浸透性に起因する塗布量による影響なども考えられる。今後の課題としたい。

図 7 加熱後の接着強さ試験の結果

図 8 各種塗布材塗布後の接着強さ試験の結果（28 日後）

4. 2 圧縮強度試験の結果及び考察

図 9 に、各時間加熱した後の ALC パネルから切出した、ALC 素材コアの圧縮強度試験の結果を示す。又、筆者らはこれまでに、ISO834 に規定される加熱時間と、ALC の主要な結晶体であるトバモライトの加熱変化深さには高い相関関係があり、加熱変化深さを式(1)で表すことができることを報告している¹⁾。この式から算出されるトバモライトの加熱変化深さを、ALC 素材コアの加圧面積を算出する際に除いて圧縮強度を算出した結果も合わせて示す。

加熱時間の増加に伴って圧縮強度は低下し、加熱時間 60 分でほぼ一定となり、非加熱パネルの値から約 34% 低下した 3 N/mm^2 となる。

一方、ALC のトバモライトの加熱変化深さを除いた圧縮強度は、加熱時間 60 分までは非加熱の値にほぼ等しいことから、トバモライトが加熱変化している部分は、ALC 素材の圧縮強度に寄与していないことが推察される。加熱時間 60 分以降は加熱時間の増加に伴って、トバモライトの加熱変化深さを除いた圧縮強度は大きくなる傾向にある。ALC は素材として、 100°C 以上 700°C 未満までの加熱によって圧縮強度が大きくなり、 400°C 付近で最大 80% 程度まで大きくなるが、収縮ひび割れによって相殺される可能性もあると報告されている³⁾。加熱温度 60 分を超える加熱では、加熱面側のひび割れの生じた部分を除いて、残りの ALC 素材の圧縮強度は、熱影響により大きくなっている可能性が推察される。

$$k = -0.0016t^2 + 0.7365t + 0.1544 \quad (R^2 = 0.9931) \quad (1)$$

ここに、 k : トバモライトの加熱変化深さ (mm)

t : 加熱時間 (分)

図 10 に、10 分間加熱後の ALC パネル加熱面に、各種塗布材を塗布し、28 日経過後の圧縮強度試験の結果を示す。尚、図中には比較として非加熱及び 10 分間加熱した場合の試験値を併記した。

10 分間加熱で圧縮強度は約 4.7 N/mm^2 から 10% 低下した 4.2 N/mm^2

図 9 加熱後の圧縮強度試験の結果

図 10 各種塗布材塗布後の圧縮強度試験の結果（28 日後）

となるが、各種塗布材を塗布することにより圧縮強度は10分間加熱の値を超えて回復し、特にアクリル系及びセメント系では非加熱の値以上に大きな圧縮強度となる。各種塗布材による圧縮強度の回復の対象を10分間加熱したパネルとしたが、他の加熱時間のALCパネルにおいても効果のあるものと推察する。但し、加熱時間や塗布量による回復効果への影響も考えられる。今後の課題としたい。

4. 3 曲げ強さ試験の結果及び考察

図11に、10分間加熱後のALCパネルに各種塗布材を塗布し、28日経過後の曲げ強さ試験の結果を示す。尚、各図中には比較として非加熱及び10分間加熱した場合の試験値を併記した。

正圧方向での荷重載荷において、荷重－たわみ曲線から非加熱パネルの曲げひび割れは約6000Nで発生し、10分間加熱することでひび割れの発生は約40%低下した3600Nとなるが、その種類に関わらず各種塗布材の塗布により、曲げひび割れの発生荷重は約4800Nと、塗布しない場合に比べて約33%の回復が確認できる。この回復は、各種塗布材の塗布によりパネル塗布面（加熱面）の圧縮強度が10分加熱の値より回復（向上）したことに起因するものと考えられる。

一方、負圧方向での荷重載荷において、その種類に関わらず各種塗布材の塗布により、ALCパネルの曲げひび割れの発生荷重は10分間加熱した値よりも大きく、非加熱の値と同等若しくは若干大きな値となっている。各種塗布材の塗布によりパネル加熱面の曲げ引張強度が向上したことに起因しているものと考えられる。

本報においては10分間加熱したパネルを塗布の対象としたが、他の加熱時間においても同様に回復効果は期待できるものと推察する。但し、加熱時間や塗布量による回復効果への影響も考えられる。今後の課題としたい。

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 加熱時間の増加に伴い接着強さは低下する傾向にあるが、加熱時間40分ではほぼ一定となり、非加熱パネルの値から約61%低下した 0.30 N/mm^2 となる。

- (2) 10分間加熱したALCパネル加熱面の接着強さは、各種塗布材を塗布することにより、塗布しない場合に比べて20%の回復が確認できる。
- (3) 加熱時間の増加に伴ってALC素材の圧縮強度は低下する傾向にあるが、加熱時間60分ではほぼ一定となり、非加熱パネルの値から約34%低下し、 3 N/mm^2 となる。
- (4) 10分間加熱したALC素材の圧縮強度は、各種塗布材を塗布することにより、塗布しない場合の値を超えて回復し、特にアクリル系及びセメント系では非加熱の値以上に大きな圧縮強度となる。
- (5) 正圧方向での曲げ強さ試験において、10分間加熱することでALCパネルの曲げひび割れ荷重は、非加熱の場合に比べて約40%低下するが、その種類に関わらず各種塗布材を塗布することにより、塗布しない場合に比べて約33%の回復が確認できる。
- (6) 負圧方向での曲げ強さ試験において、その種類に関わらず各種塗布材の塗布により、ALCパネルの曲げひび割れの発生荷重は10分間加熱した値よりも大きく、非加熱の値と同等若しくは若干大きな値まで回復する。
- (7) 接着強さ及び圧縮強度試験で確認されたように、10分間の加熱によって低下したALCパネル加熱面の強度性状が、各種塗布材の塗布により回復したことに起因し、非加熱パネル同等には至らないが、パネルの曲げひび割れ荷重も回復したものと推察される。

参考文献

- 1) 遠藤利二，橋高義典：ALCパネルの各種強度性状に及ぼす加熱の影響，その1 加熱後のALCパネルの曲げ強さ及びX線回折によるALC結晶構造の分析，日本建築学会構造系論文集，第633号，pp.1921-1926，2008.11
- 2) 日本建築士学会 ALCパネル現場タイル張り研究委員会：ALCパネル現場タイル張り工法指針（案）・同解説（改定版），第2版，2000.4
- 3) Aroni S., et al. : RILEM Recommended Practice, Autoclaved Aerated Concrete(Properties, Testing and Design), RILEM Technical Committees 78-MCA and 51-ALC, E & FN Spon, pp.12-46, 1993

図11 塗布材毎のALCパネルの荷重－たわみ曲線（10分加熱後に塗布）

[2009年6月17日原稿受理 2009年7月30日採用決定]