ALC パネルの内部応力に関する検討

EXAMINATION ON THE INTERNAL STRESS IN ALC PANEL

松沢晃一 ——— * 1 橘高義典 ——— * 2

キーワード：
ALC パネル, オートクレーブ養生, ひずみ差, 熱膨張係数,
内部応力

Keywords:
ALC panel, Autoclave cure, Strain difference, Coefficient of the
thermal expansion, Internal stress

Koichi MATSUZAWA ——— * 1 Yoshinori KITSUTAKA ——— * 2

ALC panels become the building members with necessary strength and durability by the autoclave cure. Autoclave cure of ALC takes approximately 10 h under the temperature of 180°C and saturated steam pressure of 1MPa. It is thought that strain difference between ALC and reinforcing bar, as a result of temperature change, causes the internal stress in ALC panels. This study was conducted to clarify the existence of the internal stress in ALC panels.

1. はじめに

ALC パネルの製造ならびに品質の概要は JIS A 5416 軽量気泡コンクリートパネルに規定されている。ALC パネルは、型枠に補強筋を配置し、主原料であるセメント、石灰質原料、珪酸質原料、そして、アルミ粉末などの発泡剤を練り混ぜたスラリーを型枠に投入し、発泡した半硬化状態のグリーンケーキをピアノ線で所定の厚さに切断した後、オートクレーブ養生を経て必要強度および耐久性を備えたパネルとなる。その後、それぞれの用途に応じた目地形状の加工、寸法調整がなされ、ALC パネルとして出荷される。

ALC のオートクレーブ養生は、温度 180°C、圧力 1MPa 程度の飽和水蒸気下で約 10 時間の養生を施すもので、珪酸カルシウム水和物であるトバモライトの生成を目的として行われる、ALC の製造には必要不可欠な工程である。本養生下では、グリーンケーキおよび内部に埋設される補強筋が高温となるために膨張する。そして、両者が膨張した状態で硬化および一体化する。オートクレーブ養生が終了すると、ALC パネルは常温まで徐々に冷却されて収縮する。その際、ALC の熱膨張係数が約 $7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ¹⁾、また、補強筋である鉄の熱膨張係数が約 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることから、ALC パネルが冷却されると、1°C の温度変化に際し、ALC と補強筋には約 3×10^{-6} のひずみ差が生じることになる。つまり、ALC パネルが 180°C のオートクレーブ養生後に 20°C の常温まで冷却されると、温度は 160°C 低下するため、ALC と補強筋には約 480×10^{-6} のひずみ差が生じる。ALC と補強筋は付着により一体化しているため、両者は各々の収縮を相互に妨げるように働き、補強筋には引張ひずみを発生させる応力、そして、ALC には圧縮ひずみを発生させる応力が作用すると思われる。

このように、冷却後の ALC パネル内部には、ALC と補強筋の熱膨張係数の違いにより応力（本研究では、内部応力）が作用している可能性がある。

著者らは、過去²⁾に ALC 単体の引張試験によるひび割れ発生時のひずみの測定、そして、ALC パネルの曲げ試験による曲げひび割れ発生時におけるパネルの引張縁のひずみの測定を行った。その結果、ALC 単体でのひずみが 292×10^{-6} であるのに対し、ALC パネルの引張縁のひずみは 579×10^{-6} となり、両者には約 2 倍の差が生じていた。試験に用いた ALC の製造ロットや、試験時の載荷方法などの条件が異なるものの、材料自体のひび割れ発生ひずみに 2 倍もの差がでるとは考えにくい。

この差は、オートクレーブ養生後の冷却時に、ALC と比較して収縮の大きい補強筋の影響により、ALC に潜在的に圧縮応力が生じることで、圧縮ひずみが発生していることが考えられる。つまり、ALC パネルの曲げひび割れ発生時の引張ひずみが ALC 単体に比べて大きくなっているのは、潜在的に生じている圧縮ひずみが、見かけの引張ひずみとして加算されたものと推察される。しかし、ALC パネル内に潜在的に発生する内部応力に関する詳細な報告はなされておらず、ALC パネルと曲げひび割れモーメントに関する検討³⁾において、ALC パネル内にプレストレスが発生しているとの考察が述べられているにとどまっている。

そこで、本研究では、ALC 母材、配筋量、補強筋径が異なる ALC パネルを用いて、ALC 母材および母材内の補強筋に生じているひずみを測定することにより、ALC パネル内に生じていると思われる内部応力に関する検討を行った。

¹⁾ 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学域 助教・修士（工学）
〒192-0397 八王子市南大沢 1-1

²⁾ 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学域 教授・工博

¹⁾ Assist. Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan Univ., M. Eng.

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

2. 実験概要

2.1 ALC パネル概要

表 1 に試験に用いた ALC パネル一覧、図 1 に ALC パネルの配筋状況およびひずみゲージ（以下、ゲージ）の貼付け位置を示す。ここに示す配筋位置は、実際の墨出し位置から計測した値となっている。ALC パネルは、母材が異なる 4 種類、補強筋径が 5, 7mm の 2 種類、ALC パネルの引張側の配筋量が 3, 4, 7 本の 3 種類とし、それらの組合せにより合計 6 種類について検討を行った。

なお、本研究に用いた ALC パネルは、製造会社により若干の差異はあるものの、密度が 500kg/m³ 程度、圧縮強度が 5N/mm² 程度の、一般に市場に流通している JIS A 5416 に適合する ALC パネルである。

2.2 ひずみ測定方法

ひずみの測定は、ALC パネルの長辺方向に配置された引張側の主筋と、そのかぶり部分の ALC について行うこととした。そのため、それぞれのひずみを測定するために、表 1 に示す ALC パネルについて主筋ひずみ測定用、そして、ALC ひずみ測定用としてそれぞれ 1 枚ずつ用いた。

まず、引張側が上面になるように ALC パネルを平置きして鉄筋探査を行い、補強筋位置に墨出しを行った（写真 1）。

表 1 ALC パネル一覧

パネル No.	母材	補強筋径 (mm)	引張側配筋量 (本)	寸法 (mm)
1	A	5	3	100×600×2700
2	A	5	7	100×600×2700
3	A	7	7	100×600×2700
4	B	5	3	100×600×2700
5	C	5	3	100×600×2990
6	D	5	4	100×600×3000

--- 補強筋 □ ひずみゲージ ▽ ゲージ近傍切り込み位置 ▼ 横筋近傍切り込み位置

図 1 ALC パネルの配筋状況およびひずみゲージ貼付け位置

写真 1 ALC パネル

写真 2 主筋へのゲージ貼付け状況

写真 3 パネル表面へのゲージ貼付け状況

写真 4 ALC パネルの切断状況

写真 5 切断後の主筋

写真 6 切断後のパネル表面

次に、ゲージと、その両側の ALC パネルの短辺方向に配置された横筋との距離が同一となるように、その中心にゲージを貼り付けた。なお、主筋のひずみ測定には検長 1mm、ALC のひずみ測定には検長 30mm のゲージを用いた。測定箇所は、それぞれの ALC パネルにつき 6 箇所である（図 1）。

主筋ひずみを測定した ALC パネルについては、ゲージ貼付け箇所の周辺部（ゲージ中心から主筋方向 20mm、横筋方向 10mm 程度）の ALC を、主筋を傷つけないように削り出し、主筋に付着している粉などを除去した後にゲージを貼り付けた（写真 2）。また、ALC ひずみを測定した ALC パネルについては、ゲージ貼付け箇所の凹凸を平滑にした後にゲージを貼り付けた（写真 3）。

ALC パネルの切断にはハンスキルソーを用い（写真 4）、ゲージ中心から左右 30～50mm の位置（以下、ゲージ近傍）に、引張側の主筋を切断するように切り込みを入れた（写真 5、写真 6）。その際、主筋切断直前に測定したひずみと、切断後にひずみの変化が落ち着いたのを確認したときに測定したひずみとの差を、内部応力によって作用しているひずみとした。

また、本研究では、一部の ALC パネルについて、主筋と ALC との付着の影響をみることにした。これは、ゲージ近傍で主筋を切断する前に、横筋から 30mm 内側の部分（以下、横筋近傍）の主筋を切断し、横筋による拘束がない状態におけるひずみ変化を測定したものである。

3. 実験結果および考察

3.1 ALC パネル内部の主筋ひずみ

図 2 に ALC パネル内部の主筋ひずみ測定結果を示す。なお、図中には測定された値の範囲を縦線、平均値を◇で示してある。測定箇所によってばらつきがあるものもあるが、主筋を切断するように ALC パネルに切り込みを入れることによって、主筋には圧縮ひずみが発生しているのがわかる。これは、ALC パネル内の主筋には潜在的に引張応力が作用していることを示している。また、ゲージ近傍（図 2(b)）と比較して、横筋近傍（図 2(a)）で主筋を切断した際のひずみが明らかに小さい。ALC と主筋には十分な付着力が働いているため、横筋近傍で主筋を切断しても、主筋のひずみ変化は小さかったと判断できる。なお、横筋近傍とゲージ近傍の主筋を切断した際のひずみ差は 300×10^{-6} ～ 400×10^{-6} 程度であった。

ゲージ近傍切断時における主筋のひずみ測定結果（図 2(b)）に関しては、同一母材で配筋量および補強筋径が異なる No.1, 2, 3 について比較した場合、No.1 と比較して配筋量が多い No.2 で 100×10^{-6} 程度圧縮ひずみが小さい。そして、No.2 と比較して補強筋径が大きい No.3 でも 100×10^{-6} 程度圧縮ひずみが小さくなった。また、配筋量および補強筋径が同じで、母材が異なる No.1, 4, 5 を比較した場合、ひずみ差は 100×10^{-6} 程度の範囲であった。なお、補強筋径が 5mm で配筋量が 3 本の No.1, 4, 5 と、4 本の No.6 を比較すると、No.6 の圧縮ひずみが小さくなる傾向にあった。

図 2 主筋ひずみ測定結果

図 3 ALC ひずみ測定結果

母材である ALC の性状や、補強筋に使用されている防錆剤の違いなどにより、ALC と補強筋との付着性状も異なることが考えられるが、本研究の範囲内では、配筋量が多くなると、そして、補強筋径が大きくなると圧縮ひずみが小さくなる結果となった。なお、測定されたひずみは $400 \times 10^{-6} \sim 700 \times 10^{-6}$ の範囲であった。

ところで、ALC パネルの構造設計に用いられる補強筋の許容応力度は長期、短期でそれぞれ 120N/mm^2 、 180N/mm^2 となっているが、この値は鉄筋コンクリートの場合と比較して著しく小さく規定されている。これは、ALC パネルが設計荷重時に曲げひび割れを生じさせないことを前提としているためであるが、上述のとおり、ALC パネル内の補強筋に内部応力として引張応力が作用していることを考慮に入れると、このような観点からも補強筋の許容応力度が鉄筋コンクリートの場合より小さく設定されているのは妥当であると考えられる。

3.2 ALC パネル表面のひずみ

図 3 に ALC パネル表面の ALC ひずみ測定結果を示す。なお、図 2 と同様に、図中には測定された値の範囲を縦線、平均値を◇で示してある。主筋ひずみの場合と同様にばらつきがあるものの、ゲージ近傍の主筋を切断するように ALC パネルに切り込みを入れることによって、ALC パネル表面には引張ひずみが測定された。主筋に引張応力が存在し、その主筋が ALC を拘束することで ALC パネルに潜在的に圧縮応力が作用していることがわかる。No.4, 5, 6 については、横筋近傍で主筋を切断した際のひずみも測定したが（図 3(a)）、変化はほとんどなかった。横筋による拘束よりも、ALC と主筋との付着の影響の方が大きいためであると判断できる。

ゲージ近傍切断時における ALC のひずみ測定結果（図 3(b)）に関しては、同一母材で配筋量および補強筋径が異なる No.1, 2, 3 について比較した場合、配筋量が多くなると、そして、補強筋径が大きくなると引張ひずみが 110×10^{-6} 程度大きくなっている。また、配筋量および補強筋径が同じで、母材が異なる No.1, 4, 5 を比較すると、 100×10^{-6} 程度のひずみ差であった。なお、補強筋径が 5mm で配筋量が 3 本の No.1, 4, 5 と、4 本の No.6 を比較した場合、No.6 は、No.5 より引張ひずみが小さいものの、No.1, 4 よりは大い。しかし、そのひずみ差は 100×10^{-6} 程度の範囲であった。

ALC パネル表面の引張ひずみは配筋量が多くなると、また補強筋径が大きくなると大きくなるが、母材である ALC の違いによる影響は小さいと思われる。なお、ALC パネル表面の引張ひずみは $150 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ の範囲であった。

本研究では、パネルの片面（引張側）のみのひずみ計測ではあるが、上述のとおり配筋量が多くなると、また、補強筋径が大きくなると ALC パネル表面の引張ひずみが大きくなった。ALC パネルは、本来、圧縮側と引張側では配筋量が異なるが、両側の配筋が著しく異なった場合、ALC パネルの圧縮側、引張側で、その表面に作用する応力も大きく異なることが考えられる。そのような場合、ALC パネルの反りの原因となることが想定される。このような現象は、屋根用や床用などのパネル長さが比較的短い場合は起こりにくいが、壁用パネルなど、パネル長さが比較的長い場合には起こりやすいと思われる。このように、ALC パネルの内部応力による影響を考慮すると、圧縮側と引張側の鉄筋比を一定以上にするなどの措置が必要であると考えられる。

図 4 ALC パネルに潜在的に作用している圧縮応力

3.3 ALC パネルに作用している内部応力

前述より、ALC パネル内の主筋には引張応力が作用しており、その主筋の拘束により、ALC パネルには内部応力が働いていることが明らかとなった。そこで、ALC のヤング係数を 1750N/mm^2 とした場合の^{1), 4)}、ALC パネル表面の ALC ひずみから算出した ALC パネルに働いている圧縮応力を図 4 に示す。これから、配筋量、補強筋径、母材などの条件により差はあるものの、ALC パネルには $0.3 \sim 0.7\text{N/mm}^2$ 程度の内部応力が発生していると考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲内で、以下のことが明らかとなった。

- (1) ALC パネル切断により、主筋には圧縮ひずみが発生し、そのひずみは配筋量が多くなると、また、補強筋径が大きくなると小さくなる。
- (2) ALC パネル切断により、ALC パネル表面には引張ひずみが発生し、そのひずみは配筋量が多くなると、また、補強筋径が大きくなると大きくなる。
- (3) ALC パネル内の主筋には引張応力、ALC パネル表面には圧縮応力が作用しており、ALC パネルには圧縮方向の内部応力が存在している。
- (4) ALC パネルに存在している内部応力は、条件により異なるが、概ね $0.3 \sim 0.7\text{N/mm}^2$ 程度である。

謝辞

本研究を実施するにあたり、旭化成建材（株）、クリオン（株）に多大なるご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS21 ALC パネル、2005.10
- 2) 松沢晃一、水谷吉克、橋高義典、進藤美慧：タイル仕上げ ALC パネルの曲げ性状に及ぼす張付け材およびタイル寸法の影響、日本建築学会構造系論文集、No.696、pp.209-217、2014.2
- 3) 松村晃：オートクレープ養生軽量気泡コンクリート（ALC）部材の基本的曲げ強度性状 オートクレープ養生気泡コンクリート部材の強度性状の研究 その 1、日本建築学会論文報告集、No.336、pp.42-52、1984.2
- 4) ALC 協会：ALC パネル構造設計指針・同解説、2013.12

[2014 年 10 月 14 日原稿受理 2014 年 12 月 6 日採用決定]