

ALC（軽量気泡コンクリート）

（1963年～現在）

ALC（Autoclaved Lightweight Concrete）は高温高圧蒸気養生された軽量気泡コンクリートのことで、欧米ではAAC（Autoclaved Aerated Concrete）、Gas Concrete、Cellular Concreteなどと呼ばれる。

1962年に欧州より技術導入され、我が国の建築ニーズに合わせて技術発展をしてきた。

ALCは、軽量、耐火、耐震、断熱、遮音、施工性などの性能に優れており、住宅・事務所・店舗・工場・倉庫・超高層建築等の建築物の外壁・間仕切り・床・屋根の部位に使用されているプレキャスト建材^{注1}である。ALCの高い性能は、ALCが無数の直径約1mmの気泡とオートクレーブ養生で生成されるケイ酸カルシウム水和物（トバモライト）で構成される無機多孔質材料であることによる。加えて、施工技術によって建築物の安全性を高めている。

Key-words：建材、パネル、オートクレーブ養生、ケイ酸カルシウム水和物、トバモライト、気泡

注1 専用工場であらかじめ製造した後、建設現場へ運搬して設置する建材をいう。反対に一般コンクリート建築物のように、建設現場で型枠を設置し、コンクリートを打設して作られる方法を現場打ち工法という。

1. 製品適用分野

建築物（住宅・事務所・店舗・工場・倉庫・超高層建築等）の外壁、間仕切り、床、屋根、耐火被覆などの部位に使用される。

2. 適用分野の背景（歴史）

ALCは1920年代にスウェーデンで開発された。（JA Erikssonによる特許1923～1925）。その後、改良されたALC製造技術は、1962年に日本へ技術導入された。翌年の1963年には、当時の建設省住宅局建築指導課より技術基準が通達されており、建築の工業製

品化の推進、土地の高度利用のための高層化、建築の質的向上が望まれた時代に合致したALCは、まさに国を挙げての技術導入であった。さらに、技術導入の初期の段階から、自然災害が多い日本の実情に対応した建築技術が加わり、これにも適応した姿に変わっていった。具体的には、欧州では組積用の無筋ブロックが殆どであるが、日本では、鉄骨造などの構造躯体に取り付けて外壁を構成するために、ALC内部に補強鉄筋を内蔵してパネル化させて、発展してきた。

このALCパネルは、1972年にJIS A 5416として、JIS化され、現在に至っている。

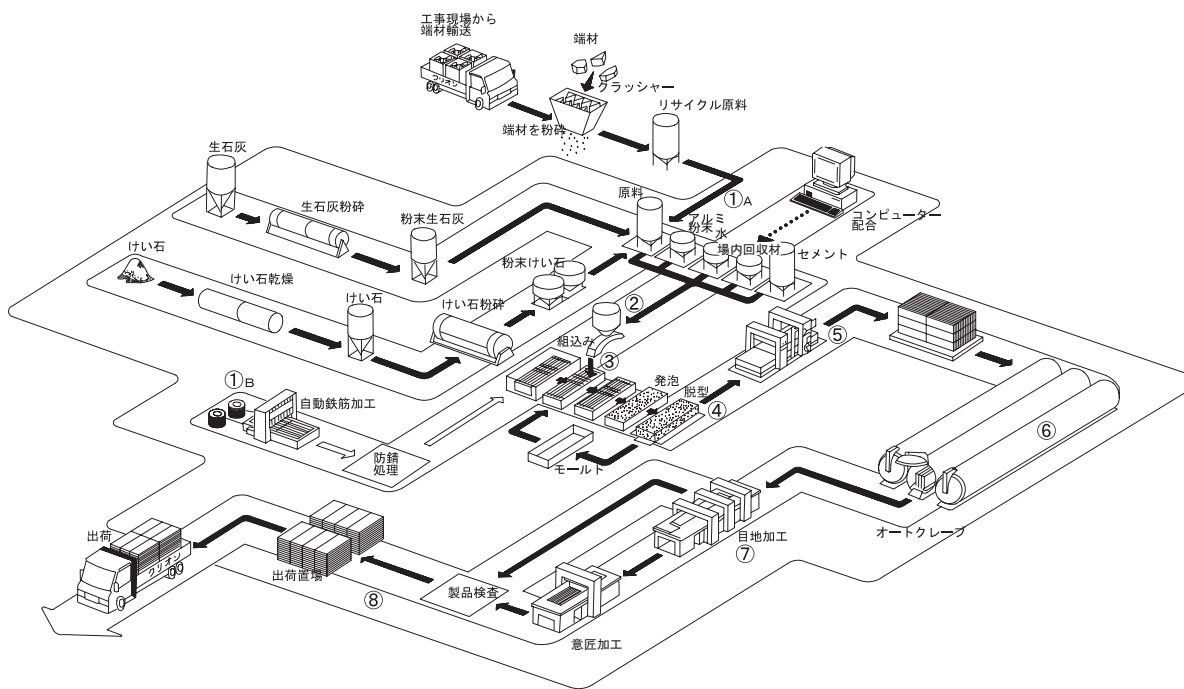


図1 ALCの製造プロセス

ALCの製造の特徴は、原料スラリーを発泡させて多孔質にする点とオートクレーブ養生によって安定な反応物を生成させる点である。製造工程はメーカー・工場によって若干の違いがある。

3. 製法

ALCの製造プロセスの一例を図1に示す。ALCの主原料はケイ酸質原料と石灰質原料であり、ケイ酸質原料は主に珪石・珪砂が、石灰質原料には生石灰およびポルトランドセメントが使用される。また発泡剤のアルミニウム金属粉末および界面活性剤が使用される。**(図1中の①A)**。さらには石膏等が添加される場合もある。使用する原料の種類および配合は、製造様式の違いによって異なる。

原料をスラリーとし**(図1中の②)**、補強鉄筋**(図1中の①B)**をあらかじめ配した型枠に流し込む**(図1中の③)**。各原料の配合およびスラリーの粘性、温度は後工程の発泡・硬化・切断工程に大きく影響するため厳密な管理がなされている。型枠中のスラリーは、スラリー中に混合されたアルミニウム金属粉末の化学反応による水素ガス発生で約2倍に体積膨張し、同時に石灰質原料の水和反応によって凝固が進む。ハンドリング可能な半硬化状態になった時点で脱型し**(図1中の④)**、ピアノ線等を用いてパネル状に切断**(図1中の⑤)**した後、オートクレーブに入れ約180℃の飽和水蒸気雰囲気中で数時間養生を行なう**(図1中の⑥)**。このオートクレーブ養生により、固相の主成分であるケイ酸カルシウム水和物のトバモライトが生成する。

トバモライトは化学式として Megaw and Kelsey が提唱した $\text{Ca}_5(\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{H}_2) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ がよく使われるが、実際には Ca/Si 比はおおよそ 1.0 ~ 0.7 までの幅を持つと言われている。反応初期に生成する $\alpha\text{-C}_2\text{S}$ hydrate^{注2)} や Ca/Si 比の高い C-S-H^{注3)} は、オートクレーブでケイ酸の溶解が進むことによって、水熱反応によって C-S-H の Ca/Si 比が徐々に低くなり、トバモライトに変化する。したがって、ケイ酸の溶解が反応律則となる。トバモライトの結晶成長が ALC の物性に大きく影響するため、使用する原料、特にケイ酸質原料の選定・粉末調整には注意が払われている。

養生後、寸法・目地・表面意匠などの切削加工を施して**(図1中の⑦)**出荷される。

4. 製品の特徴

4.1. 材料の特徴

ALCは約20vol%の固相と約80vol%の気孔からなる。気孔は金属アルミニウムの化学反応による水素ガス発生による気泡**(図2)**などにより形成される。固相の多くは、オートクレーブ中に生成されたトバモライト結晶**(図3)**である。

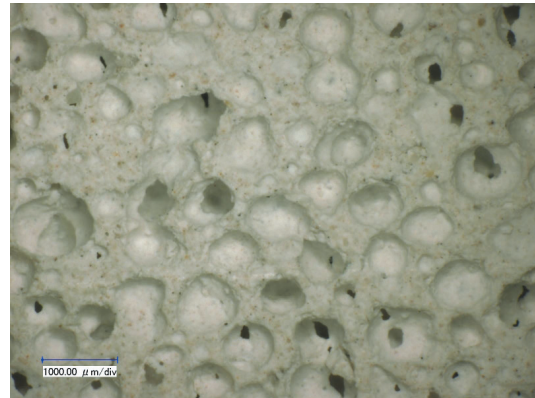


図2 ALCの気泡

ALCには発泡剤(アルミニウム金属粉末)によって発生したガスで形成される気泡が均質に分布している。

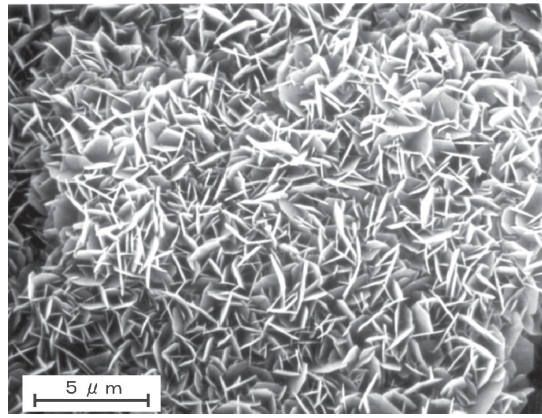


図3 ALCの気泡表面に観察されるトバモライト

オートクレーブ養生によって生成するトバモライトは板状・笹葉状の結晶であり、結晶が組み合わさってカードハウス構造を呈する。

ALCの物理的な特性は、気泡とトバモライトに起因するところが多い。ALCの密度は約500kg/m³で、通常のコンクリートの1/4以下と極めて軽量で、気泡により断熱性能も高く、熱伝導率はコンクリートの約1/10である。

トバモライトは通常のコンクリート中に存在するC-S-Hに比して乾燥収縮が低く、また熱的に安定であり、これに気孔の特性も加わり、優れた耐火性および易加工性を有する材料となっている。

4.2. 建材としての特徴

前述したように、日本においてALCは内部に補強鉄筋を配したパネルとして使用されている**(図4)**。標準的な寸法は幅が600mmであり、用途や使用部位に

注2 $\text{Ca}_2(\text{Si}_6\text{O}_4\text{H})(\text{OH})$.

注3 非晶質のケイ酸カルシウム水和物をいい、CaO、SiO₂、H₂Oの組成比が一定でないゲル様物質。セメントの常温での水と反応やCaOとSiO₂の水熱反応で生成する。

よって各種の厚みの製品がある。厚さ 75mm 未満のパネルは、主に木造や低層の S 造^{注4)}の外壁や耐火被覆材として使用される。75mm 以上の厚さのパネルは、中低層から超高層の建物 (S 造, RC 造^{注5)})の外壁、間仕切り、床、屋根等の広い用途で使用される (図 5)。

注4 Steel Framed Structure. 鉄骨造のこと。主体構造を鉄骨で建築する構造。柱、梁等の骨組みを鉄骨で作成し、それにパネルを取付けることで壁・床・天井・屋根を構成する構造をいう。

注5 Reinforced Concrete Structure. 鉄筋コンクリート造のこと。柱・梁・スラブ・壁等の主要構造部すべてを鉄筋とコンクリートで作成し、一体化した構造をいう。

注6 単に躯体ともいう。建築物の強度を受け持つ主要な構造体の中で、基礎、柱、梁、壁面、床を指すが、建築物の構造によって異なる。木造や S 造では、基礎、柱、梁であり、RC 造では、コンクリートで作られた壁 (耐力壁) や床 (スラブ) も含まれる。

注7 メーカーが、環境大臣の認定を受けて、自社製品が廃棄物となったもの (製品端材等) を広域的に回収し、製品原料等にリサイクル又は適正処理をする制度

素材の軽量化により構造躯体^{注6)}への負荷低減や工期短縮化ができることが一般的建材として浸透した。その他、断熱性、耐火性、耐震性などの特徴が広く知られているおり、安定したトバモライト結晶により、きわめて高い耐久性を誇る。

外壁の耐震性については、特にパネルの上下に内蔵したアンカーと建物の構造躯体とを専用金物を用いて

緊結する縦壁ロック機構は、地震時の建物の変形に対し、高い追従性を有し、パネルの損傷や脱落を防ぐ (図 6, 図 7)。2011 年の東日本大震災に耐えた東京スカイツリーの心柱部にもこの構法の ALC パネルが使われている。

また、ALC パネルに生産システムは、所定寸法で受注し、生産する方式を展開しており、工事現場での発生端材は極限まで少ない。この少ない端材を更に回収して原料として再使用するシステムを環境大臣の「広域認定制度^{注7)}」を取得して運用しており、ゼロエミッション化に大きく貢献している。

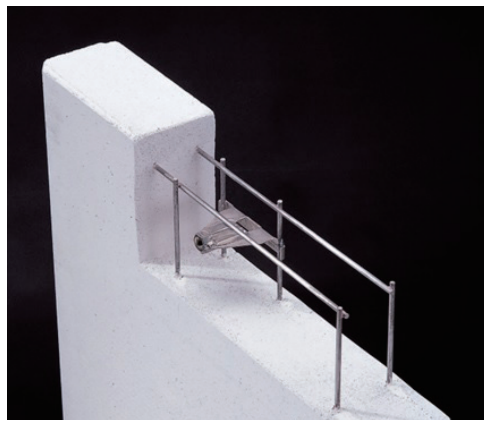


図4 ALC パネルの内部配筋例

ALC パネルには補強鉄筋が内在しており、パネルとしての強度を確保している。写真中央の部品は、建物の構造躯体に取付けるためのアンカーで、補強鉄筋に溶接されている。



図5 ALC を外壁に使用した施工例

5. 将来展望

「より安全」、「より快適」そして何よりも「環境貢献性」が重要視される中、建材分野では、気泡構造を変化させ吸音性能を向上させた材料や高密度化して遮音性能を向上させた建材の開発が進んでいる。建材以外の分野では、工業製品として、特殊な温度域での断熱材、或いは、農業用として、トバモライトの特性を活かした珪酸肥料などの開発が進んでおり、今後も製品・材料としての更なる進化が期待されている。

[連絡先] 余頃 孝之
クリオン(株) 技術開発部
〒0135-0044
東京都江東区越中島1丁目2番21号

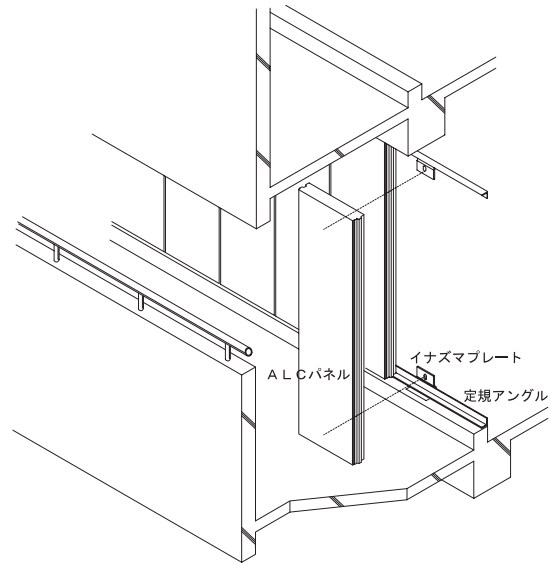


図6 縦壁ロックンク構法の納まり例

パネル上下に内在させたアンカーと建物の構造躯体とを専用金物を用いて緊結する。図は超高層住宅のロックンク構法の例を示す。

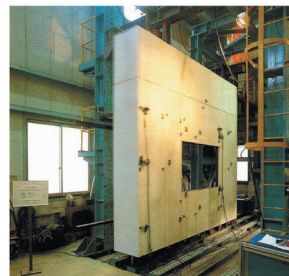
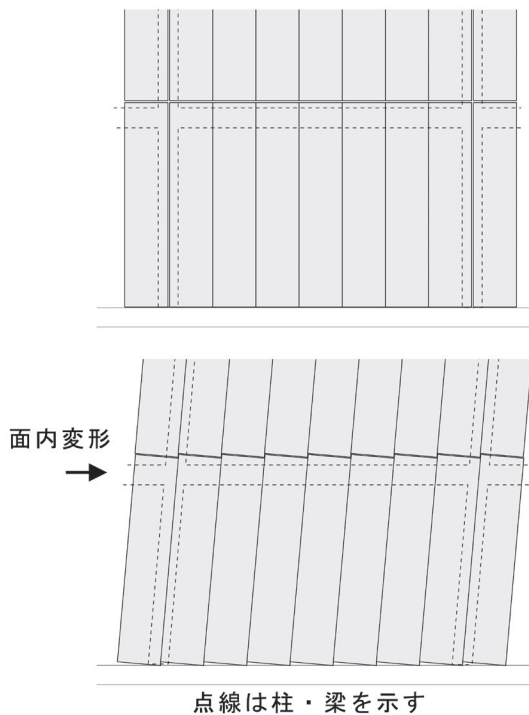


図7 縦壁ロックンク構法の壁の動き

ロックンク構法は、面内変形に対してパネル毎で揺れるためパネルに過大な応力がかからず、追従性が高い。写真は面内変形試験状況。