

ALC（軽量気泡コンクリート）

（1963年～現在）

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。

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などで呼ばれる。

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。

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。（J.A.Erikssonによる特許1923～1925）。その後、ALC製造技術は原料・製造プロセスに改良を加えられつつ、1940年代には欧州全域に広がっていった。日本には1962年に技術導入された。当時、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であり、ALCが持つ性能に合致した。さらに、単に技術を輸入しただけでなく、独自の技術により日本の建築技術に適応した姿に変わっていった。一例を挙げると、欧州の建築は組石造りであるため、ALCも石・レンガと同様にブロック状の製品が主流であるが、日本ではALC内部に鉄筋補強したプレファブリケーション用パネルとして発展してきた。

3. 製法

ALCの製造プロセスの一例を図1に示す。ALCの主

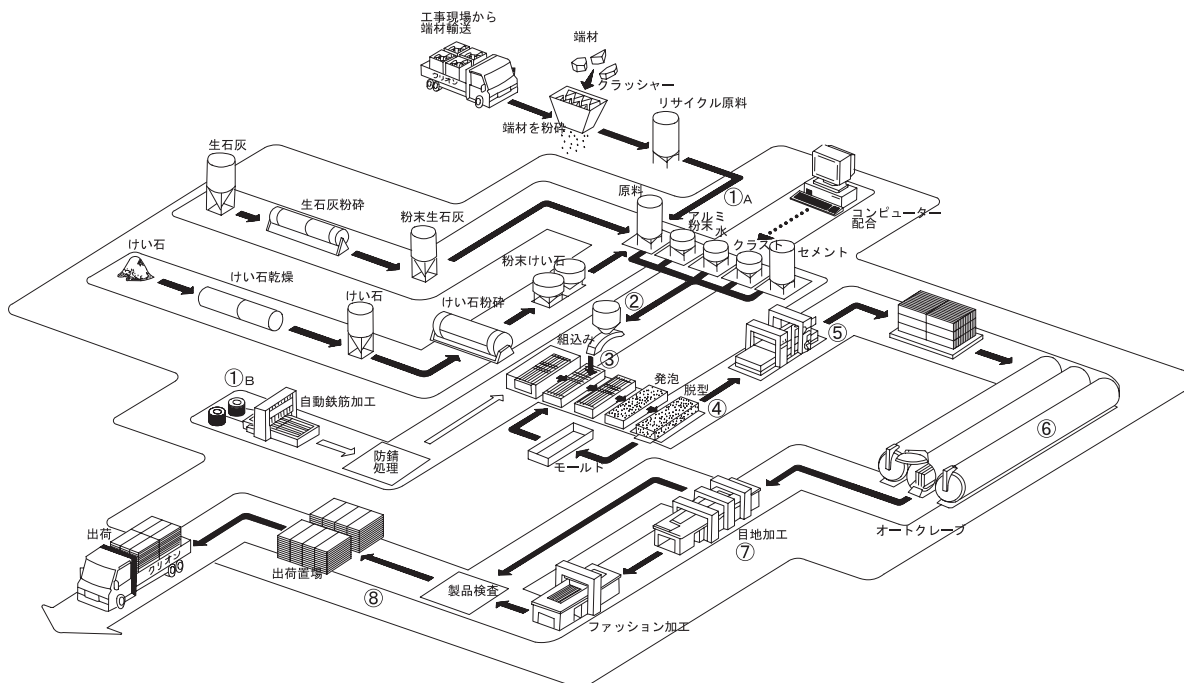


図1 ALCの製造プロセス

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。

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って形成された直径0.1mm以上の気泡(図2)と固相間に存在する0.1mm以下の空隙に分けられる。その両者の割合は全容積に対しておよそ50%と30%である。固相は13~16vol%がトバモライト(図3)であり、4~7vol%が未反応のケイ酸である。

ALCの物理的な特性は、気泡とトバモライトに起因

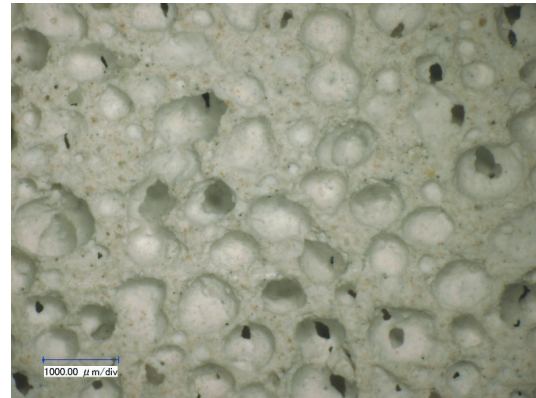


図2 ALCの気泡

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。

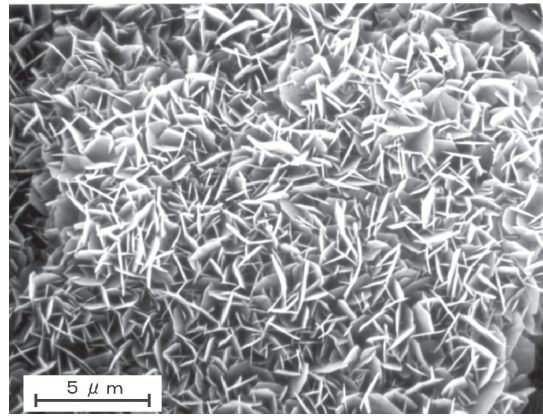


図3 ALCの気泡表面に観察されるトバモライト

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。

するところが多い。ALCの高密度は約500kg/m³(JISでは450~550kg/m³)で、通常のコンクリートの約1/4である。また、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る。さらに固相・気孔の相互作用により、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、用途や使用部位によって複数の厚みの製品がある。35mmから75mm未

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

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和反応やCaOとSiO₂の水熱反応で生成する。

満のパネルを薄形パネルといい、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から180mmの厚さの厚形パネルは、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り、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り、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。

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大きな要因であったと思われる。その他、断熱性、耐火性、耐震性などの特徴も挙げられる。特に耐火性・耐震性については、1976年の山形県酒田市の大火や1995年の阪神・淡路大震災等の災害でALC建物が焼失や損壊

から免れた実績から一般にも認識されてきた。

高い耐火性は、ALC素材が無機材料であること、多孔性に起因する断熱性によって熱移動が抑えられること、強熱によって発生する水蒸気が容易に抜けるため爆裂を起こさないことが主要因と考えられる。

外壁の耐震性については、パネル取付けの乾式化が普及したことによって高まった。特にパネルの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縦壁ロッキング構法は高い面内変形追従性を有する(図6、図7)。



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。写真中の太い鋼棒とパイブナットは、建物の構造躯体に取付けるためのアンカー。



図5 ALCを外壁に使用した施工例

5. 将来展望

ALCは表面切削加工した意匠パネル、建物の出隅・入隅部に用いるL形状のコーナーパネルなど、多様化する建築様式に対応するため、また建物の安全性向上のためロッキング構法を標準構法とするなど進化してきた。

「より安全」、「より快適」そして「環境貢献性」が建築に引き続き要求される性能であろう。高靱化、高耐久化、高断熱化、解体廃材リサイクルなどの課題に対して、ALC材料およびその施工技術が更に進化していくことが期待される。

[連絡先] 寺村 敏史
クリオン(株) 開発研究所
〒488-0052 尾張旭市下井町下井 2035 番地

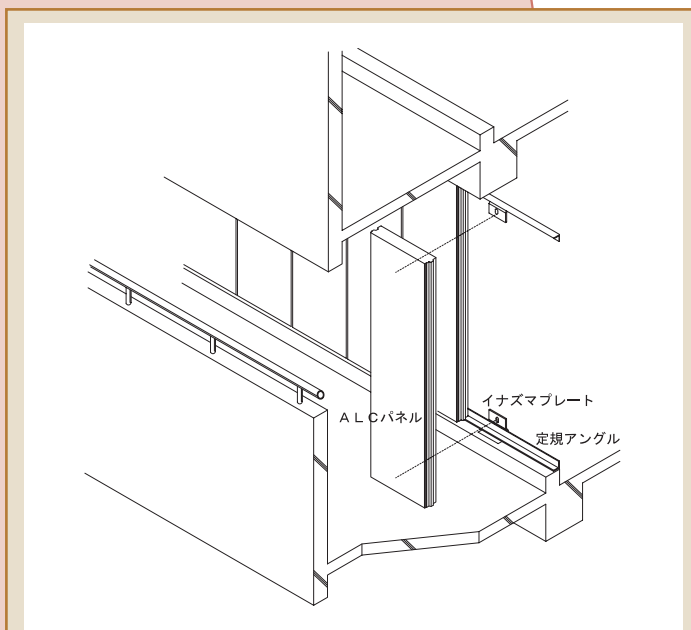


図6 縦壁ロッキング構法の納まり例

パネルの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。図は超高層ロッキング構法を示す。

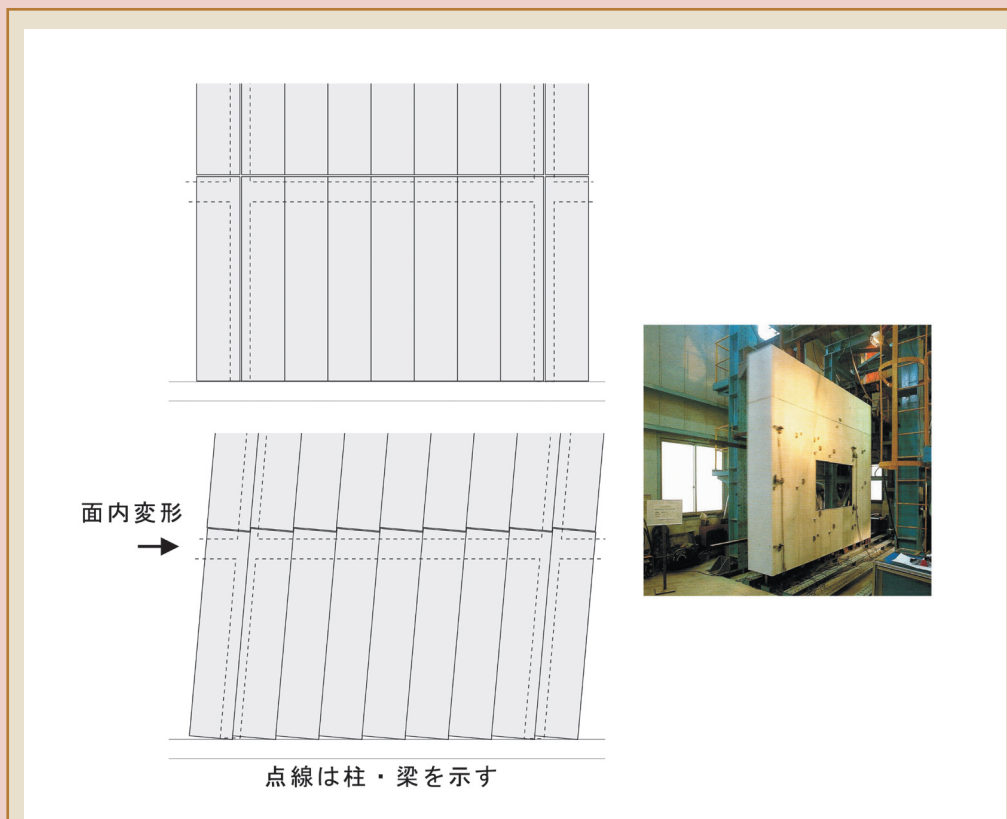


図7 縦壁ロッキング構法の壁の動き

ロッキング構法は、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。