

軽量盛土材としての気泡モルタル

Foamed Mortar as Lightweight Fill Material

ふる 谷 とし あき
古 谷 俊 明*

1. まえがき

土木材料として基本的なものは、土であり木であろうが、近年はこれに鋼とコンクリートが加わっている。

これらはともに、比較的安価で、大量使用に対応でき、また、耐久性に優れている。

最近では、これに樹脂製品が加わり、この5つの基礎材料の適性を生かし、更に発展させるなり、組み合わせるなどがこれからの方向といえよう。

コンクリートは、耐久的で強度があり、自由に成型できる等施工性に優れた特徴ある土木材料である。

気泡モルタルは、コンクリートの一種として以前から用いられているが、裏込め材料等の使用例が多く、その特性が報告などで表に出ることは比較的少なかった。

筆者らは、この気泡モルタルを、従来品に比べ気泡量を多く導入し、強度特性はある程度犠牲にするが、一段と軽量化することにより、軽量盛土をはじめ、新しい用途に適用できる新素材として完成することを目指し開発を進めてきた。

現在まで、その基本特性を把握しつつ施工も試みているが、いずれも好結果が得られている。

以下に、この新素材開発の背景を述べ、気泡モルタルの特徴とその施工例を報告する。

2. 超軽量気泡モルタル出現の背景

この十数年間、土質工学関係で最も急激な展開をみせたのは地盤改良工法と思われる。

セメント安定処理から深層混合処理工法へ、各種の材料、施工法が開発され、その結果、従来利用されなかった埋立地、谷地等へも十分活用されるようになった。

高有機質土についても、セメント系固材で固化が可能となり、地盤改良の対象となってきた。しかし、この高価な材料をもってしても産廃、汚泥等で200~300 kg/m³、有機質土の改良には300~400 kg/m³ 使う必要がありコスト高であった。

同じセメントを使うなら、5 mもの泥炭を丸ごと固めるより、水より軽いコンクリートとし、上に浮かべるだけで仮設道路には十分と思われた。

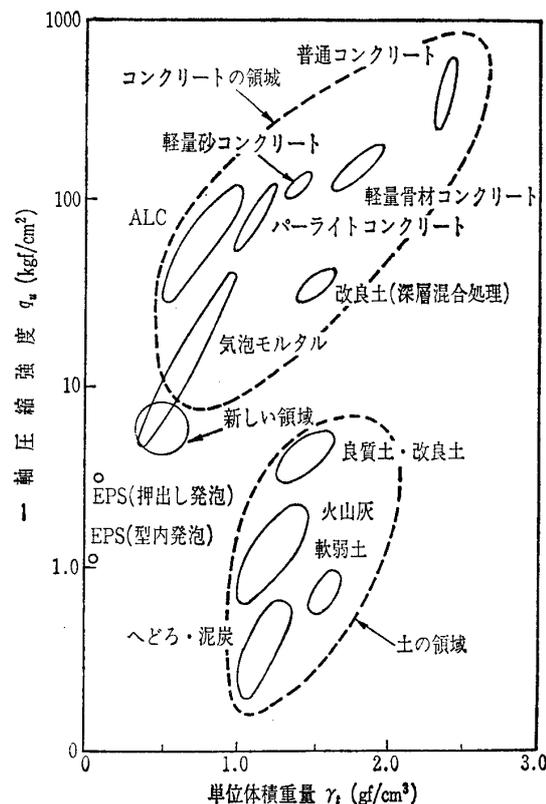


図-1 コンクリート材料と盛土材料の単位体積重量と一軸圧縮強度

一方、発泡スチロールのようにコンクリートや鋼に比べて著しく強度の小さい材料が、その軽量性により盛土材として注目されはじめた。

しかし、軽量性は抜群であるが、成型品であるため輸送を含め施工性に問題があるようである。

気泡モルタルの場合、現場で発泡させるため、持ち込む材料はほとんどセメントだけでその点理想的である。

軽量性も、単位体積重量を0.3まで下げることが可能となった。その代わり、強度は $q_u=5 \text{ kgf/cm}^2$ と低い。これは、図-1¹⁾に示すように、コンクリートの領域を外れ、土の領域に入るとみてよい。境界領域が注目される昨今、新素材の資格は十分と思われた。

3. 気泡モルタルの製造

3.1 構成材料

現在、気泡コンクリートから気泡モルタル、エアミルク

*小野田セメント(株) 事業開発本部FM事業チームリーダー

表-1 気泡モルタル構成材料と気泡導入法

名称	マトリックス材料	気泡		
		起 泡 剤	気 泡 導 入 法	特 徴
(気泡セメント) 気泡モルタル	セメント類	・たん白系 ・界面活性剤系	ミックスフォーム (ミキサー内で 攪拌起泡)	設備的に簡単 気泡導入に限界 独立気泡
(気泡コンクリート)	粉末材料	・樹脂石けんほか	プレフォーム (発泡機による 気泡を使用)	発泡機が必要 比重管理容易 独立気泡
	細骨材	・アルミ粉ほか	アフターフォーム (化学反応による 発生ガス利用)	設備的に簡単 比重調整困難 連続気泡

まで、これらの呼び方が不統一に使用されている。これを構成する材料、気泡導入法を表-1に示す。この中で、名称はマトリックス構成材料で区分されるが、粉末材料の使い分けが行われるケースでは明確な定義が困難である。これらを総称して気泡コンクリートと呼ぶことも行われているが、ここではこれを気泡モルタルとした。

気泡モルタルのマトリックス構成材料として、セメント類ほどの種類も使用可能であるが、フライアッシュセメントは起泡剤の種類によってはその品質にばらつきを与えやすい。微粉タイプのセメントは、一般に製品の安定性で優れている。同様にベントナイト、クレイサンド等の粉末材料はマトリックス粘性、気泡保持に効果的で多く利用されている。

細骨材として一般に細砂が用いられ、水密性向上、収縮量低減に有効である。軽量化、高強度化を狙ってパーライトや発泡スチロール粒を用いることも行われるが施工性の点で問題があるようである。

気泡の部分は、界面活性剤による気泡かまたはアルミ粉とアルカリの化学反応によって発生するガスによって得られる。前者は独立気泡であるが、後者の気泡は連続部分が多い。

界面活性剤も加水分解たん白系、合成界面活性剤系、樹脂せっけん系等に大別される。たん白系は泡膜強度が大きく安定性が高いので多く用いられるが品質変化が起こりやすい。合成界面活性剤系は起泡力が高く流動性に優れる。また、安定剤との併用で性能改善が図られてきた。

プレフォーム法によって得られた気泡は、気泡密度、気泡安定性等のチェックが容易であり、この方式は高品質気泡モルタルの製造に用いられる。

3.2 気泡モルタルの製造

気泡モルタルは、比重が約2のマトリックスの中に比重約0.04の気泡を分散させたものであるため、品質の優劣はその安定性で測られる。特に、単位体積重量が0.5 gf/cm³以下の超軽量品は気泡含有量が多いため、分離が起こりやすく製品の上下部分の比重差が大きくなる。この時マトリックス部分の保持力が不足すると天端の沈下となり、極端な場合、凝結の始まりとともに崩落し容積が半減する

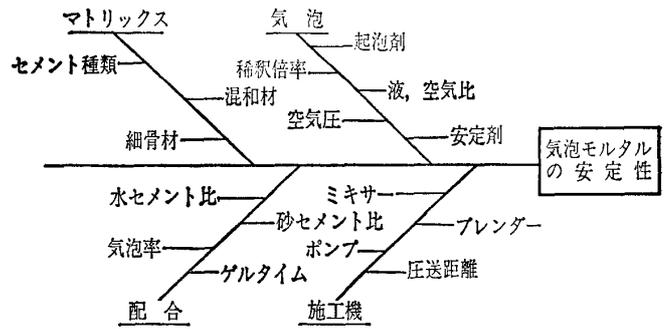


図-2 気泡モルタルの安定性に影響を及ぼす特性要因図

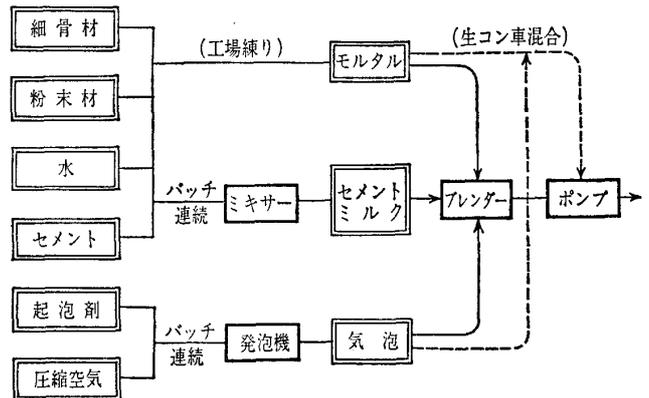


図-3 プレフォーム方式による気泡モルタルの製造フロー (現場プラント)

こともある。

気泡モルタルの安定性を支配する要因は図-2に示すように材料から輸送システムまで数多く、複雑である。筆者らの場合、まだ検討不十分な点も多いが、一般的な気泡モルタルでは起泡液を10~20倍液とし、空気/液比20~30倍で発泡させている。また、セメントミルクは水セメント比50~70%で、モルタルは砂セメント比1~3で良好な気泡モルタルを得ている。

プレフォーム方式による気泡モルタルの製造フローを図-3に示す。プラントは現場プラントとなるが、できるだけコンパクトにし、車上型も多く用いられる。

セメントミルクはバッチ式ミキサーが確実であるが、発泡機が通常連続式であるため特殊な連続ミキサーを用いることもある。

モルタルの場合、現場で混合することはプラントが大型化するため、生コン工場から所定のモルタルの供給を受けることが多い。

セメントミルクまたはモルタルはブレンダーで気泡と均一に混合され、スネークポンプまたはスクイーズポンプで圧送される。

生コン車をブレンダー代わりに用いることも可能で、1~2分の高速回転で十分混合できる。

4. 気泡モルタルの強度特性

気泡モルタルの物性には多くの特徴があるが、ここでは

主に強度特性の一部について述べる。

4.1 一軸圧縮強度

早強セメントを用い W/C=60% のセメントミルクに、界面活性系の気泡を内割で80~90%となるように加えて超軽量タイプの気泡モルタルを製造した。2か月自然養生を行った後、φ5×10 cm に成型し一軸圧縮試験を行った。

この時の含水比 $w=4.6\sim 5.8\%$ 、乾燥単位体積重量 $\gamma_d=0.2\sim 0.3 \text{ gf/cm}^3$ 、透水係数 $k=10^{-2}\sim 10^{-3} \text{ cm/s}$ であった。

図-4¹⁾ に間隙比 e の異なる供試体の σ - ϵ 曲線を示した。当然のことながら、間隙の少ないものほど圧縮強度が高く、初期の剛性も高い傾向を示しているが、特徴的なことは、最初の降伏で強度をある程度失うがその後も残留強度を維持しているということである。これは供試体が全体的に破壊するのではなく、表面から局部的に破壊していくためであり、このことは圧縮中の供試体の観察からも認められた。

図-5 は普通セメントを用い水セメント比55%とした時の広い範囲での単位体積重量と28日材齢の一軸圧縮強度の関係を示したものである。

4.2 吸水による強度変化

気泡モルタルは空隙が大きいいため普通コンクリートに比べ吸水率が高い。図-6 は気泡率を変え、細骨材比を変えた供試体の24時間全面吸水による吸水率 (ml/cm³) を示し

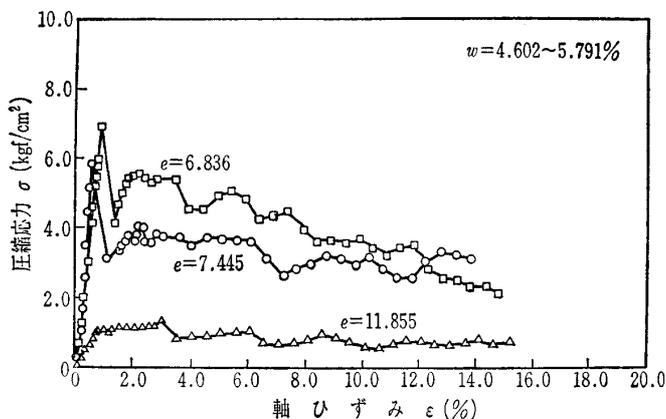


図-4 一軸圧縮試験の応力~ひずみ曲線

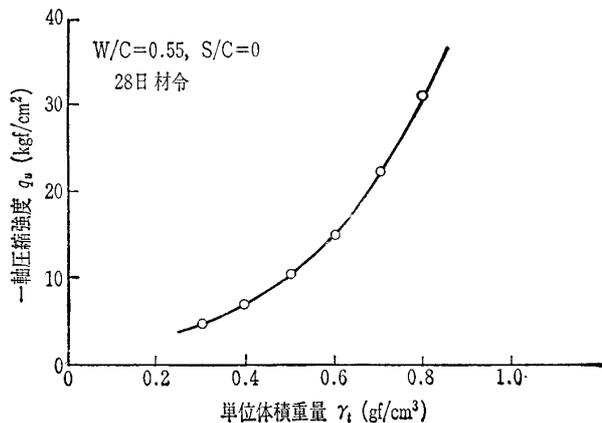


図-5 気泡モルタルの単位体積重量と一軸圧縮強度の関係例

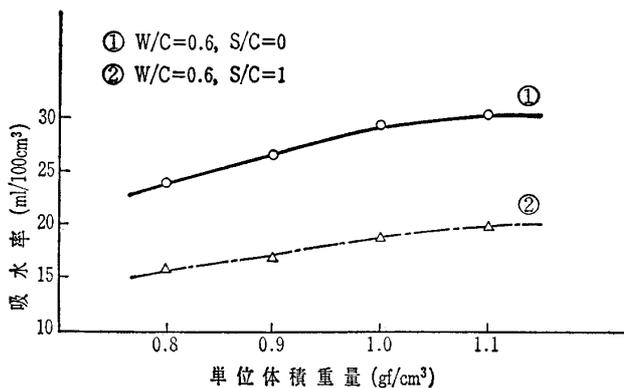


図-6 気泡モルタルの吸水性

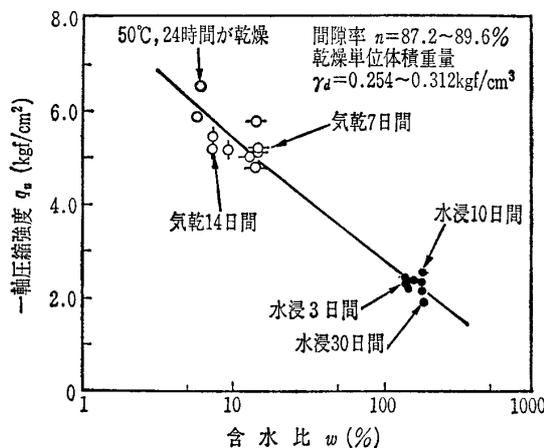


図-7 含水比と一軸圧縮強度の関係¹⁾

た。単位体積重量が小さくなるにつれ気泡率は増すが吸水率は低下しており、また、砂使用によっても吸水率が減少している。これらのデータを整理してみると単位水量と吸水率とは比例関係にあることが分かる。

すなわち、気泡モルタルの吸水率は、気泡の量よりも気泡の質、マトリックスの質によって変化し、これらをコントロールすることにより吸水率はかなり小さく抑えられる。気泡モルタルを盛土材として使用した場合、長時間経過後も不飽和状態にあると考えられる。図-4において使用した材料について、含水比と一軸圧縮強度の関係を図-7¹⁾ に示した。すなわち、気泡モルタルは吸水量が上がると一軸圧縮強度はかなり低下するが、その50%は確保できるようである。吸水後の長期的な強度低下傾向はないと考えられる。

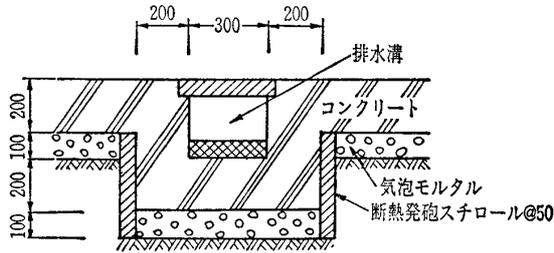
5. 施工例

これまで述べてきたように、気泡モルタルはその特性からみて、軽量盛土材として有効な材料と思われるが、実際に浮体盛土とした工事はまだ実施していない。

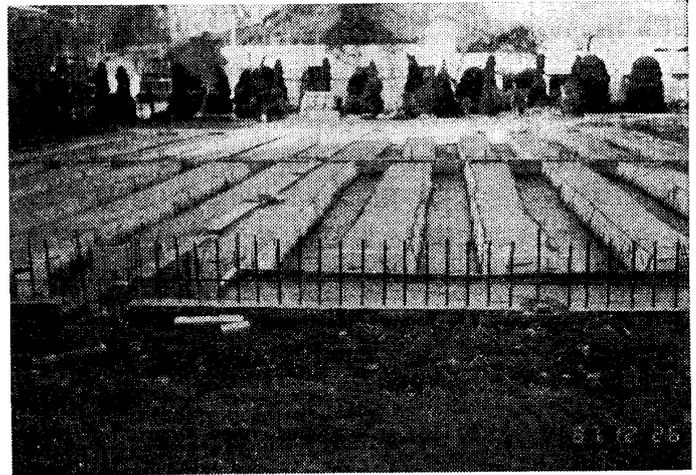
以下の施工例は、気泡モルタルの特性を生かした工事の中で、軽量盛土材として使用する際に参考となると思われるものである。

表一2 断熱床用気泡モルタルの配合と特性

配 合 (kgf/m ³)				物 性 値				
水セメント比 (%)	セメント	水	起 泡 剤	気 泡 率 (%)	湿潤単位体積重量 (gf/cm ³)	乾燥単位体積重量 (gf/cm ³)	28日材齢一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	熱 伝 導 率 (kcal/m・h℃)
50	270	135	2.4	80	0.44	0.38	7.7	0.07



図一8 断熱床の断面構造



写真一1 断熱床としての気泡モルタル打設後

5.1 温室土間基礎工事

栽培用温室の断熱床として、発泡スチロールの代わりに気泡モルタルが用いられた。その断面構造は図一8に、配合および特性を表一2に示す。型枠として発泡スチロールを用い、そのまま埋め殺したので、発泡スチロール併用の例ともいえる。

気泡モルタルの熱伝導率が含水比によって大きく変化するため打設後1週間を乾燥期間とした。また事前に下地処理としてカチオゾールの散布事後上面をアスファルトプライマーのロール掛けとし防水対策とした。

施工に用いた機械を表一3に示す。これらは2t車に積載されており、打設に伴って移動できるので好都合であった。

供用後の熱消費量もほぼ設計どおりで、期待効果が得られたものと思われる(写真一1)。

5.2 ゴルフ場池改修工事

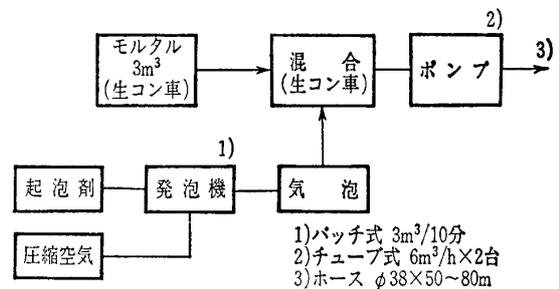
ゴルフ場の池は、水深が浅いため温度が上がりやすく、アオコが発生しやすい。この対策として、攪拌機を用いて水を強制攪拌しているが、その結果、底のへどろをまき上げて池の汚濁が著しくなった。このため、池底のへどろを固定する方法として、気泡モルタルによる被覆工法が試みられた。



写真一2 ゴルフ場池改修工事での気泡モルタル施工中

表一3 使用機械

使用機械	内 容
ミキサー	MU-40型連続式ピンミキサー 能力3m ³ /h
発泡機	連続式発泡機, 1.5kW コンプレッサー
ポンプ	2.2kW ワンゲンポンプ
ホース	φ32mm ビニールホース



図一9 生コン利用気泡モルタル製造フローと使用機械

表一4 へどろ被覆用気泡モルタルの配合と物性

配 合 (kgf/m ³)				物 性 値				
セメント	水	砂	起 泡 剤	気 泡 率 (%)	湿潤単位体積重量 (gf/cm ³)	乾燥単位体積重量 (gf/cm ³)	28日材齢一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
335	201	502	1.87	50	1.10	1.05	35.2	

表-5 空洞充填気泡モルタルの配合と物性

配 合 (kgf/m ³)				物 性 値			28日材齢一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
水セメント比 (%)	セメント	水	起 泡 剤	気 泡 率 (%)	湿潤単位体積重量 (gf/cm ³)	粘 度 (秒)	室 内	現 場
55	403	222	3.25	65	0.67	15	25.1	19.1

注) 粘度はPロート法による。現場強度は7日現場養生(平均5℃), 後室内養生(20℃)

事前に室内で種々の予備試験を実施したが、その中で最も効果的であったのがへどろの上に単体0.4の気泡モルタルを薄層で覆い、この上に浮上防止のために普通モルタルを重ねる方法であった。

この方法で行うと、超軟弱のへどろでも被覆材がその上に留まり容易にその被覆が可能で、処理後の見映えも良好であった。

現地へどろは、含水比 $w=123.6\%$ 、単位体積重量 $\gamma_t=1.285 \text{ gf/cm}^3$ であったが、池の水切り後しばらく放置したためへどろ表面がやや固くなっており、単体1.1の気泡モルタルでも十分へどろ上に留まった。このため施工能率を考え、生コンを利用、ミキサー車内に気泡を投入、攪拌する方法とした。

圧送はチューブポンプ2台を用いて行い、被覆厚さ5cm、施工面積2500m²を1日で仕上げた。この配合等を表-4に示し、製造システムを図-9に示す。

気泡モルタルの単体は、ミキサー車出口で1.05~1.15、ホース先で1.15~1.25と目標値よりやや重くなったが、被覆は十分であった(写真-2)。

施工翌日には十分歩行ができ、湛水後は透明度が増し、その被覆層は攪拌流にも十分堪えている。その後、引き続いて約5000m²の池も同様な方法で行った。

5.3 空洞充填工事

軟弱地盤地帯では、地盤沈下のため構造物下に空洞が生じるケースが多い。これに対し、流動性がよく、単位体積重量も小さい気泡モルタルがよく用いられる。

国道36号線の例では、踏掛版の下に約20cmの空洞が発生し歩道の一部が陥没した。

復旧工事のため、歩道の一部を掘削し、そこから塩ビ管を通じて気泡モルタルの充填工事を行った(写真-3)。

小規模工事であったため、当方からは小型発泡機のみを搬入、現地でミキサー等を調達し、得られたセメントミルクはスタティックミキサーで気泡と混合しそのまま注入した。配合表を表-5に示す。

注入終了は、空洞上部にセットしたエア抜きパイプの閉塞時とした。



写真-3 空洞充填工事として気泡モルタル注入中

6. あとがき

気泡モルタルは、軽量性のほか、今回紹介は省略したが流動性、透水性、膨張性、急結性等配合次第で多くの機能が発揮できる有用な素材である。

しかし、これを土木材料として使いこなすには、大量施工システムの中でその性能が発揮されなければならない。試験室で得られた結果が即そのまま現場で実施できないことは多い。

気泡モルタルはその主役が不安定の代表とも言える“気泡”であるため試験方法も微妙で、まだ統一されたものがない。したがってここに記したデータも1例に過ぎない。

軽量盛土材をはじめ地下空間の充填材、断熱防火材、被覆材等多くの用途が期待されるこの新素材も材料開発から機械開発、試験法、設計基準の確立等課題は多い。

筆者らは、この気泡モルタルを多くの試験施工を重ね、一層の品質改善により、安心して使用できる多機能新素材として育てるため、今後共努力を続ける覚悟である。

参 考 文 献

- 1) 古谷俊明・山内豊聡・浜田英治: 気泡セメントモルタルの力学的特性, 土木学会西部支部研究発表会, 1988.3.
(原稿受理 1988.10.4)