

軽 量 骨 材 資 源

～膨 脹 頁 岩 ①～

岡 野 武 雄

I は じ め に

建築業界で用いる人工軽量骨材というのは 狭義には頁岩(shale) 粘土(clay) 炭坑のボタを約 1200°C に焼成して膨脹させたものと フライアッシュ (fly ash 石炭を燃料に用いる炉で 煙道に溜った ガラス質の微粉灰) に粘土や粘質物(たとえば パルプの廃液)を加えて焼成したものをさすが 広義には 膨脹スラグ (製鉄の溶高炉から出るカラミを膨脹させたもの) 火山礫・軽石に人工的な皮殻を加工したもの (改良骨材といわれているもの) を含めている。アメリカの一部には 焼くと膨脹はしないが 軽量となるために骨材として使用しているものもある。本項では 頁岩・粘土・ボタを用いるもののみをとりあげる。

なお わが国の業界の一部では 頁岩・粘土を用いるものを膨脹頁岩系焼成骨材 フライアッシュを主材とするものをフライアッシュ系焼成骨材とよんで区別している。人工軽量骨材には 生産者によって商品名が付けられている (例 メサライト ビルトン など)。

わが国では 膨脹頁岩は 1959年ころ 2～3社から製品が市場に出たばかりで 原料 製造法について秘密な点が多い。したがって 本篇ではアメリカにおける状況を主としてとり上げ わが国の原料・製品などについては メーカーが発表している資料やカタログによることにした。

II 用 語

ここで本項に出てくる用語について 2, 3 解説を行なっておく。

焼いて膨脹させて骨材として利用できる 生の頁岩や粘土を 膨脹性頁岩・粘土 (expansible shale clay) 焼いて骨材として利用できる製品となったものを 膨脹頁岩・粘土 (expanded shale clay) とよぶことにする。この定義はここだけのことで 従来は 膨脹頁岩という語は どちらの意味にも用いられているようである。

頁岩 粘土は地質学的意味では次のものをさしている。

粘 土 (clay) は 可塑性がある含水珪酸アルミニウムからなるもので粒度 1/256m/m以下のもの。

頁 岩 (shale) は 縞状をなし 剥げやすい siltstone や claystone をいう。silt というのは 1/16～

1/256m/mの粒度鉱物で siltstone は silt が 50%以上からなりたつ岩石 claystone は 塊状の clay silt からなる岩石。

以上は 地質学的な定義であるが 膨脹頁岩 粘土と いうて 用いる意味は 以上のように厳密でなく 砂 (2～1/16m/m) よりも細かい粒子が大部分を占めている岩石で焼くと膨脹するという意味ぐらいに考えたい。

次に地質時代を意味する用語 地質時代の区分を示すために図表を掲げておく。この表によって 地質時代新旧 おおよその年代を知ることができる(第1表)。

第1表 簡単な地質時代区分 (数字は10⁶年前)

		第 四 紀		0-1
新 生 代	第 三 紀	鮮新世		1-12
		中新世		12-28
		漸新世		28-40
		始新世		40-60
中 生 代	白 亜 紀	ジュラ紀		60-130
		三 疊 紀		135-155
				155-185
古 生 代	二 疊 紀	石炭紀	{ Pennsylvanian Mississippian	185-210
		デボン紀		210-265
		シルリア紀		265-320
		オルドビス紀		320-360
		カンブリア紀		360-440
		先カンブリア紀		440-520
				520-2100

III 膨脹頁岩研究・利用の歴史

ある種の粘土は 焼くと膨脹 (bloating) することが古くから知られていた。この現象を最初に説明したのは Jackson で 彼は粘土が膨脹するのは 粘土中にある Fe₂O₃ の分解によって出てくる酸素によるものと信じて 1903年に論文を出している。1908年には Orton と Staley が もし Jackson の説が正しいならば 膨脹する粘土はすべて Fe₂O₃ を含んでおり 同じ温度で膨脹するはずだと考えて実験を行なった。しかし実験の結果は これらの粘土が 1100—1700°C の温度と かなり広がりある範囲で膨脹し かつまた Fe₂O₃ を多く含む粘土は膨脹しないことを知った。この2人は また種々の炭質物は 粘土を焼いているうち 粘土がガラス化

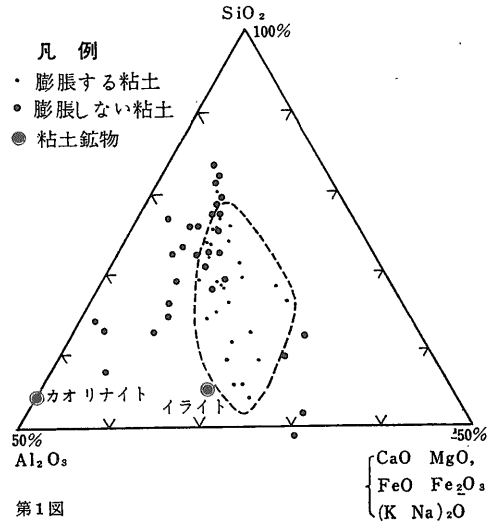
する以前に逃げ去ってしまい 粘土膨脹の原因は 粘土がかなりガラス化してから 粘土中であつた黄鉄鉱に起因するSO₂ガスの発生のためであることを主張した。

こうして 粘土の膨脹に関する研究が 多くの人によってなされ Bleininger と Montgomery(1913) Jackson (1924), Wilson (1927), Austin, Nunes, Sullivan(1942) などの人々が 種々の天然産の粘土を調べ 純粋のカオリン粘土に 人工的に種々の物質を混ぜて 焼いてみたり 空気を断つて 窒素ガス中で加熱しても膨脹する粘土のあることを研究したりした。 こうして粘土が膨脹するには 粘土がガラス化して 内部で発生したガスをとらえ込んでいること とらえられたガスは 有機物・炭酸塩・硫化物・硫酸塩・Fe₂O₃の分解によって発生するCO CO₂ SO₂ SO₃ O₂ などであることが解つてきた。

次いで Conley, Wilson, Klinefelter (1948) は多くの膨脹する (bloating) 粘土と 膨脹しない (non-bloating) 粘土の化学分析を行ない 粘土が膨脹するのに必要な化学成分上の範囲を 実験的に定めた。 その後 Riley や Stamboliev などが 膨脹しない粘土に silica や alumina を加えて 膨脹させる実験や 中央部に大きな空隙のある骨材を製造する研究を行なっている。

膨脹頁岩の利用の歴史は アメリカ合衆国において 1913年の Hayde にはじまる。 Hayde は ある種の頁岩を加熱膨脹させて 軽量骨材を作り これに Haydite という商品名を付けて製造をはじめた。 彼は特許をもっていたが 第一次世界大戦中 特許を開放したので 各地で膨脹頁岩の製造がはじまった。 しかし 今日著名な商品名をもつ膨脹頁岩骨材は 1940~1950年ごろに開発されたもので アメリカ合衆国における焼成骨材の生産は このころより著しく増加してきている。 最近では 1959年に約500万トン 1963年には 700万トン近くに達している。

わが国では 1959年ころから三井金属鉱業K Kが 米国より技術を導入して 膨脹頁岩の企業化を進め メサライト なる製品を開発して 1961年ころから市場に出している。 このほか 宇部興産 住友金属鉱業 太平洋炭鉱などが頁岩を原料とする骨材の研究を進め 一部製品が市場に出ている。 また 一方 フライアッシュに粘土 フライアッシュにパルプ廃液を加えて焼成したフライアッシュ系の骨材の生産も はじまっている。 今日では 未だ 生産も少なく 骨材市場 (いうまでもなく砂利を主とし 砕石 火山礫) における 占有率は少ないが 近い将来において 生産・消費の大幅な増加が期待されている。



IV 粘土の膨脹機構

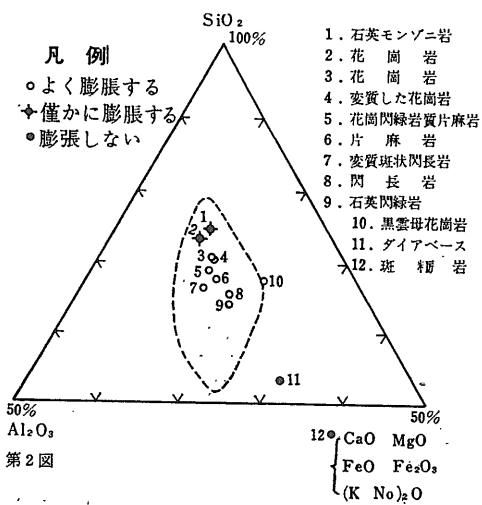
Conley, Wilson, Klinefelter は約80個の膨脹する粘土と 膨脹しない粘土の分析を行ない 粘土の性質とその化学成分との関係を表にした。 しかしこの表からは粘土の膨脹性と化学成分との関係を導き出すことはできなかった。

Charls M. Riley は 粘土が膨脹するには 2つの条件が必要である。 それは

- ① 高温でガラス相を作り それが 発生したガスを内部に取込んでおくにじゅうぶんほど 粘性がなければならない
- ② ガラス相が作られる時に ガスを発生する物質が存在しなければならない

という 従来知られていた条件から研究をはじめた。

そして Conley らの出した 粘土の膨脹性とその化学成分の資料に Riley は彼自身の資料を(SiO₂), (Al₂O₃), (CaO+MgO+FeO+Fe₂O₃+Na₂O+K₂O)の 三成分系の座標で表わすことを考えた。 すなわち 個々の粘土の化学成分から 上記以外の量の少ない成分や H₂Oなどの揮発成分を除いたものを 100% になるよう計算して再配分し これらを 三成分系の座標上に落した (第1図)。 第1図で 破線で囲んだ範囲は 膨脹する粘土が占める範囲である。 そして この範囲内のものは上記2つの条件のうちの1つ ①のみを満足することを強調した。 同時に この範囲に落ちる成分を有する膨脹しない粘土は ②のガスを発生する成分に欠けていると推定した。 また三角座標上 膨脹範囲外の左方に落ちる粘土は その成分中に 粘土を溶けやすくする成分 (MgO CaO など) がじゅうぶんでなく ガス発生物質も不足しているであろうとしている。



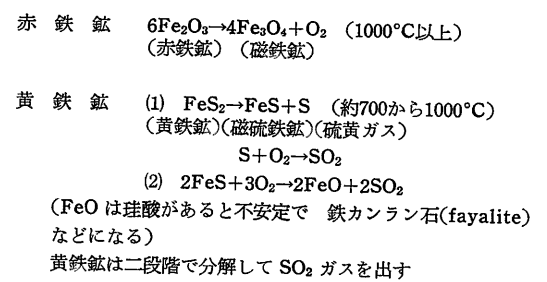
この推定を確かめるために 溶けやすい成分の多い粘土(三角座標上の膨脹範囲外右方に落ちる粘土)に SiO₂ と Al₂O₃ の微粉末を適量加えて その混合物の全成分が 膨脹範囲に落ちるように調合した。この混合物は 焼成試験で膨脹することが確かめられ 第1図の破線の範囲内に落ちる化学成分を有するものは 膨脹条件の1つをじゅうぶん満たすものであることを決定した。

次いで ②のいかなる物質が ガラス相になる温度でガスを発生するかについて研究を行なった。まず 膨脹しない混合物(ある温度で溶けてガラス相を作り できるだけ天然の粘土に近い化学成分をもつ)として 純粋な カオリン 無水珪酸 微斜長石の粉末を計算して混ぜ合せ 三角座標上膨脹範囲外の左方にくるように調合したものを作った。この混合物に 黄鉄鉱 赤鉄鉱 方解石 ドロマイト マグネサイト(前4つは ある膨脹する粘土に実際に含有されていることが確かめられている)を-115メッシュに砕いたものに加え これら全混合物の化学成分が 膨脹範囲にくるように調合して 焼成試験(1260°C)を行なった。その結果 黄鉄鉱 赤鉄鉱 ドロマイトが熔融温度でガスを発生することがわかった。こうして ① ②の膨脹の機構の概要を明らかにすることができた。

Riley はまた 多くの火成岩を砕き 固めて焼成試験をし ほとんどの火成岩が膨脹することを明らかにした(第2図)。とくに 流紋岩 安山岩などの微結晶質部ガラス質部をもっている岩石が よく膨脹することを確かめている。このことは 個々の火成岩の構成鉱物に関係がなく膨脹範囲に落ちる成分の火成岩は膨脹することを示すものである。火成岩のガス発生機構について

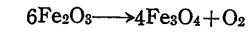
は造岩鉱物である角閃石 黒雲母や 緑泥石の役割りを論じている。角閃石は約800°C に加熱されると この鉱物中の鉄分と水分が反応して水素を出す(2FeO+H₂O → FeO₃+H₂ 角閃石は酸化角閃石 oxyhornblende に変る)。しかしこの H₂ は膨脹に関係ないであろう。この温度では H₂ ガスを取込んでおくガラス相はできていないからである。次いで さらに加熱(1200°C以上)されると Fe₂O₃ が先に述べた実験のようにガス発生物質となる。

上に述べた一連の実験から得た結果を Riley は多くの人々が行なった 鉱物や化合物の加熱実験の研究を用いて 解釈しようとしている。先の実験でガスを発生させた 赤鉄鉱 黄鉄鉱 ドロマイトのガス発生反応として

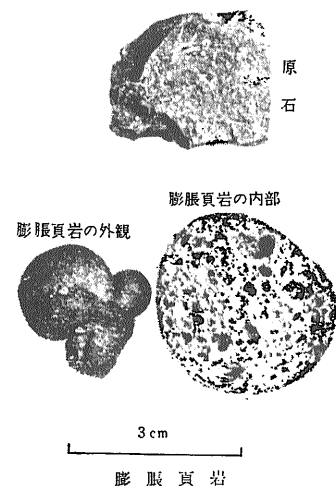


ドロマイト ドロマイトは加熱すると分解して CO₂ ガスを発生する しかしこの分解反応は 1000°C 以下で完了するので ガラス相のできる 1200°C まで分解せずに残っているとは考えられない したがって ドロマイトは分解の過程で中間の化合物 たとえば K₂CO₃ (これは高温で分解する) のようなものを作ると考えられる

以上 ながながと Riley の行なった実験と考察を述べてきた。しかし 実際に工業的に膨脹頁岩を製造する際は 急激に膨脹温度まで加熱するか ある時間原料を予熱してから加熱するかという炉の操作や 焼成する原料の粒度などによって 膨脹機構は変わってくると思われる。当然低い温度で分解して ガスを発生する物質も 加熱温度が早いために 粘土粒の内部に取り残され 粘土粒の表面がガラス化する温度になって はじめて粒の内部でガスを発生することもある。したがって 方解石やドロマイト 有機物や炭素 多くの粘土鉱物や含水鉱物などの低い温度で分解する物質も CO₂ や H₂O を分離して膨脹(発泡)の原因となることができる。これらのガス発生物質は ごく少量で その役割りをはたすことができるのである。今赤鉄鉱から O₂ を発生する場合を考えてみると



の式から計算すると比重2.5の粘土が同体積のO₂を発生するには常温常圧のもとで粘土中に1.6%(重量)のFe₂O₃を含んでいけばよい。かりに圧力1気圧で温度1200°Cの場合は0.3%含有していればよい計算になる。



土の鉱物成分

膨脹頁岩の原料として使用される頁岩はどんな性質のものであろうか。その化学成分・鉱物成分についての研究はほとんど発表されていないので実際に使用されている頁岩については知ることができない。しかしその化学成分はおそらくRileyの膨脹範囲に落ちるものであろうことは推定できる。

頁岩や粘土を構成している鉱物はその数が非常に多い。この種類の多い鉱物を1つ1つの頁岩や粘土の試料について検討することは困難なことである。かつまた量の少ない鉱物はX線などを用いても同定することはもちろん存在すら気付かれずにしまうこともある。堆積岩の構成鉱物の量比分析はその化学分析値から計算によって出すもので4つの粘土鉱物を含む14の普通に堆積岩中にみられる鉱物で表わす方法である。問題はあがるがこの方法で分析された頁岩・粘土の鉱

物組成の平均値のいくつかを示すと次の第2表のようになる。

第2表 頁岩・粘土の化学分析値より計算して得た構成鉱物の平均値 (重量%)

	1	2	3	4	5	6	7	8
粘土 鉱物	48	52	68	69	47	73	48~69	59
石英・チャート	26	21	19	11	26	18	11~26	20
長石類	11	7	5	5	16	4	5~11	8
炭酸塩	6	13	4	9	5	1	4~13	7
Fe-酸化物	5	4	2	—	4	2	0~5	3
その他	4	3	2	6	2	2	2~6	3

- 1: 頁岩の平均 78のサンプル (Clarke, 1924)
- 2: Russian Platform の粘土 6804のサンプルに時代区分の比率を考慮したもの (Green, 1959)
- 3: Russian Platform の粘土 10, 000のサンプル (Ronov and Khlebnikova, 1957)
- 4: アメリカ州からの頁岩 226サンプル4%の有機物を含む (Mc Kelvey, 1960)
- 5: 寒帯・温帯の粘土 Russian Platform 1570サンプル (Ronov and Khlebnikova, 1957)
- 6: 熱帯の粘土 同上
- 7: 1~4の値の範囲
- 8: 最も新しい計算方法を用いて提案された 粘土・頁岩の平均の構成鉱物比

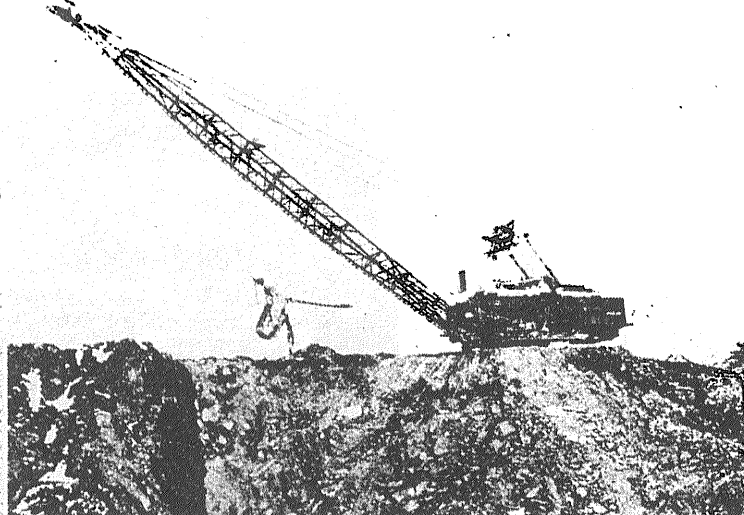
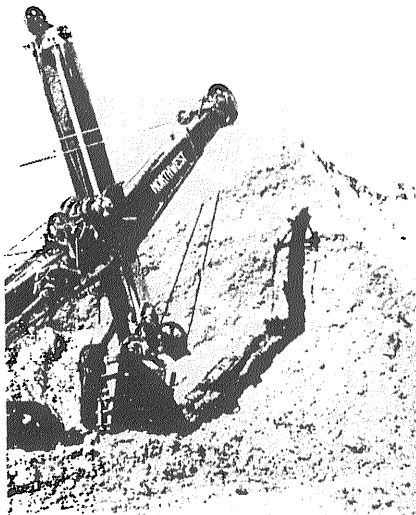
この表からもわかるように 頁岩や粘土には 鉄の酸化物や炭酸塩は相当量含まれており ガス発生源はじゅうぶんに存在するといえることができる。

VI 膨脹頁岩の種類

膨脹頁岩の製造法には2つの方法があり方法によって製品の種類・性質が異なる。

- 1. 球形状 (round type または coated type と呼ばれる)

この方法は 頁岩原石を砕いて ロータリー・キル



㊤ California の Basalt Rock Co の膨脹頁岩採掘場

㊤ Material Service 社の採掘場 頁岩の採掘 表土剥ぎのドラグ・ライン (4立方ヤードの容積)

んで焼き 焼成膨脹した後に 粗粒・細粒に篩分する方法である。この方法で製造された頁岩は 球に近い形をしており 内部の構造は (写真1)のように軽石状になり 外壁は緻密質な皮殻でおおわれている。

2. 粉碎状 (crashed type)

原石を粗塊状のまま シンタリング・マシンで焼き大塊状に膨脹させたものを 粉碎機で砕いてこれを篩分したものである。この型のものは 外観が軽石を砕いたような角礫状で 表面に無数の穴がみられる。この型の骨材は 吸水性が大きく ワーカビリテイ (コンクリートにしたときの加工のしやすさの度合い) が悪い。

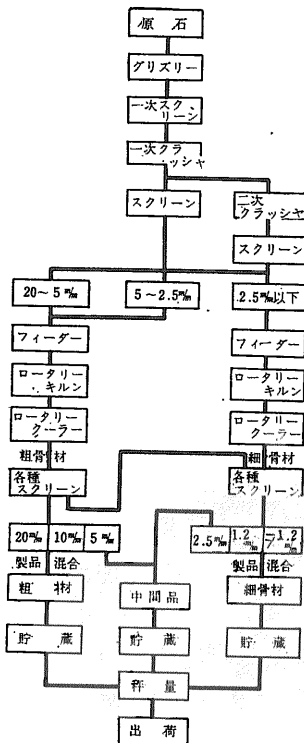
最近では 焼成技術が進歩してきたので ほとんどロータリー・キルン方式が採用されている。

VII 膨脹頁岩の採掘・焼成

膨脹頁岩の採掘場・工場の位置は次のような条件によって決められる。

1. 原料の頁岩がなるべく低い温度で焼いて膨脹すること。この温度は1260°C以下であり 膨脹温度範囲が広く 焼成時にねばつかないことが望ましい。また 骨材としての有害成分を含まないこと 原料が均質で鉄量の多いこと。
2. 原料が露天掘で大型の機械を使用することのでき

第3図 製造系統図



(三井・土屋による)

る 地質的・地理的位置にあること。

3. 搬出距離をみじかくするために原料が市場の近くにあること。
4. 電気・水の便利

なこと。

原料頁岩の採掘は 表土削ぎとともにドラグ・ラインや パワーショベルなどの大型採掘機械を用いている。(写真2,3)は 約10年ほど前の雑誌よりとったものであるが 現在はさらに大きなものを用いている。

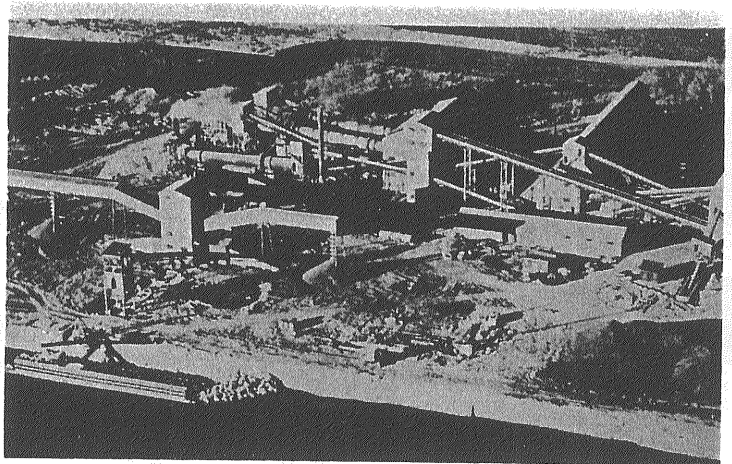
採掘された頁岩は トラックで焼成工場に運ばれここで粉碎・篩分が行なわれる。このように処理された頁岩は 予熱・乾燥に入れられてから 焼成キルンに入る。ロータリー・キルンは 従来はあまり大きなものは用いられていなかった。(写真4,5,6)にみるようにアメリカ イリノイ州のMaterial Service 社の創立当時(1956)のロータリーキルンは 長さ54m 直径38mのもの2本であり (写真7)の カリフォルニア州Basalt RockCo. (1956年頃)のロータリー・キルンは 長さ42m 直径2.7mのもの4本 同州 Rocklite 社(1956年頃)のキルンは(写真8)にみられるように 42×2.7m 3本 25×2m 1本であり いずれの焼成工場でもこの程度のロータリー・キルンを用いていた。

しかし最近では 焼成原価の引下げのため 大型のキルンが用いられるようになり 61×3m 75×4.5mの規模のキルンが用いられてきている。燃料は重油を用い 能力も1,500m³/日に達するものができている。

第3図に アメリカの代表的な膨脹頁岩製造工場のフロー・シートを示す。

VIII アメリカにおける膨脹頁岩

頁岩などを焼いて骨材を作る技術を開発したのは アメリカ合衆国である。今日では 世界各地で焼成骨材の生産が行なわれているが 生産量の点では アメリカ合衆国が 群を抜いて大きい。焼成骨材の製造事業所の数も 1962年頃 約80箇所といわれている。現在稼動しているおもな事業所は 次のとおりである。



④ Material Service 社の工場全景

会社	州 県 (County) Town	生産能力 m ³ /年
Material Service Devision (of General Dynamics Corp.)	Illinois La Salle Ottawa	135,000
Clinchfield Coal Co. Buildex, Inc.	Virginia Rusell Clinchfield	120,000
	Kansas McPherson Marguette	120,000
Geogia Lightweight Aggregate Co.	Geogia Polk Rockmart	70,000
American Aggregate Co. Rocklite Products, Inc.	Oregon Pottland	60,000
	California Ventura Ventura	45,000
Basalt Rock Co.	California Napa Oakville	40,000
Norlite Products Co.	Washington	35,000
Shale-Lite Co.	California	35,000

これらのうち Clinchfield Coal Co. の骨材の原料は選炭の副産物の頁岩(ボタ)を用いており 他はすべて頁岩を掘っている。以下 資料のある California 州の膨脹頁岩を主として これに Illinois, Wisconsin, Iowa 州の状況を述べる。

California 州

California 州鉱山局の調べによると California 州内

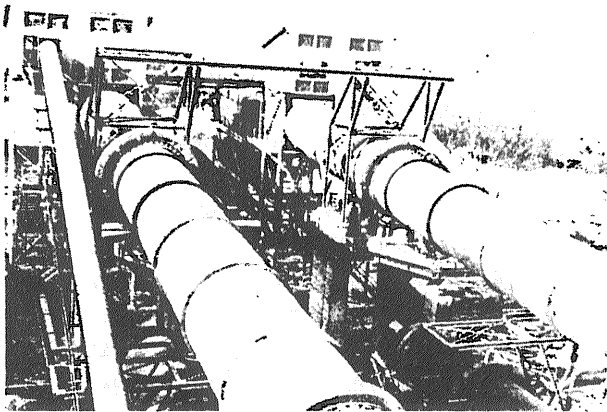
で膨脹頁岩に適する頁岩は ジュラ紀 白亜紀 始新世 鮮新世時代の海成堆積物のものに限られているようである。ジュラ紀より古い時代の細粒質の岩石は 粘板岩や千枚岩に変化しているので不適当であるという。中新世のものは 珪質頁岩で膨脹性がよくない。第四紀のものは 一般に膨脹しない。

膨脹性頁岩は California 州の西部に広く分布しており 鉱量が豊富で 採掘が容易で 市場(すなわち 都市)に近く 運搬の便利なところで稼行されている。

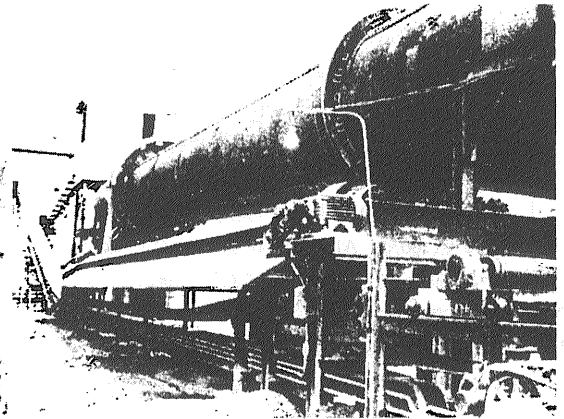
California 州の北部には 上部ジュラ紀~下部白亜紀の Knoxville や Horsetown 層中の頁岩が良質とされているが 未稼行のようである。

California 中北部では Napa County の南部で Basalt Rock Co., Maine County の東部では McNear Brick Co. によって頁岩が採掘され 骨材が作られていた。

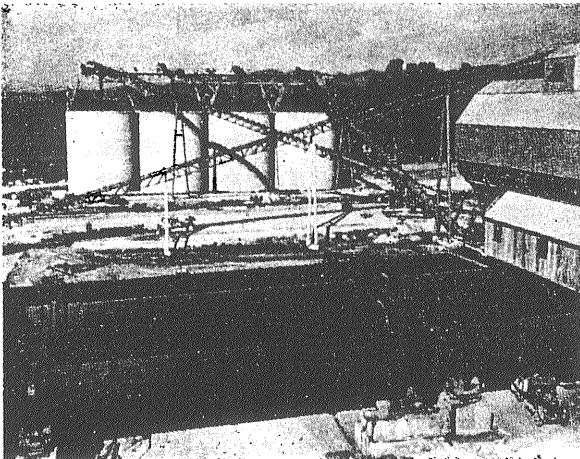
Basalt Rock Co. で採掘しているのは 上部白亜紀の Chico 層の頁岩で 1953年以來 Vallejo の北で採掘している。chico 層の厚さは 約25mである。骨材の商品名は“Basalite”なる coated type の骨材で7基のロータリー・キルンで焼成している。能力は750m³/日



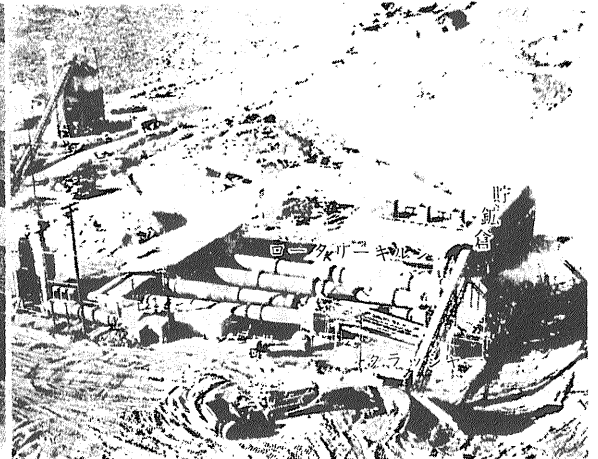
⑤ Material Service 社の工 ②160ffのロータリー・キルン 右方は増設予定



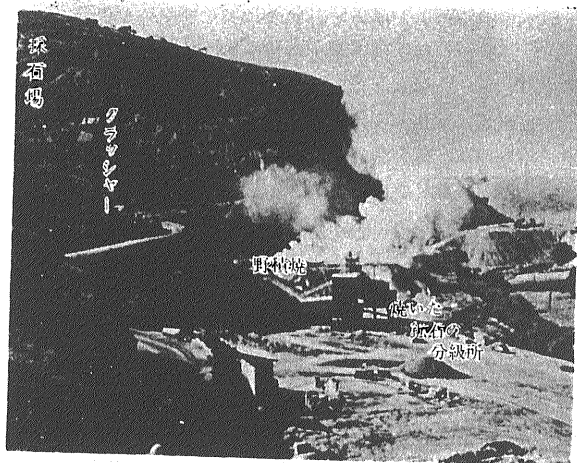
⑥ Material Service 社の工場 ドライヤー



⑦ California の Basalt Rock Co. の焼成工場



⑧ California の Banalt Rook Co. 工場



⑨ カリフォルニア Airox Co. 全景

である。McNear Brick Co. で採掘し 膨脹頁岩とされているのは Franciscan 層中の頁岩である。1932年以來San Rafael 付近で採掘され McNear Point の工場で焼かれている。

California 南部では Ventura County で Rocklite Co. および Ridgelite Products Co., Santa Barbara County で Airox Co. が焼成骨材を製造している。

Rocklite Co. は Ventura 油田地帯の 鮮新世の Pico 層中の頁岩を用いて 1940年以來稼行している。これが California 州で最も若い時代の地層中の頁岩を利用している。Rocklite は coated type の骨材で 5基のロータリー・キルンを用いて焼かれている。能力 600m³/日。Rocklite の化学成分(原土でなく焼いたもの)は SiO₂ 61.80% Al₂O₃ 23.60% Fe₂O₃ 2.90% CaO 2.60% MgO 2.80% Na₂O+K₂O 5.35% Ig. loss 0.40%(合計で99.45%)である。

Ridgelite Products, Inc. は Frazier Park 近くで中新世に属する Lockwood clay 層中の泥岩を用いて 1952年以來 焼成骨材の生産を続けてきている。この原料は焼いても膨脹せず したがって岩片の体積は変わらないが 内部の湿分や有機物が逃げ出してしまうので 相対的に軽くなったものである。

Airox Co. は Santa Barbara County の Casmalia 付近で採掘し Santa Maria の工場で骨材にしている(写真9)。原料は中新世の Sisquoc 層中の含珪藻土質頁岩で これをキルンを用いず 野積みにして焼いて骨材を作っている。やや古い資料だが 1955 年ごろ California 州で上記の5工場(Airox Co. を除く)で使用していたロータリー・キルンは42m(長さ)×2.6m(直径)のもの 小さいものは25m(長さ)×2m(直径)のもので 5工場 合計11本であった。

Illinois 州

Illinois 州 Chicago の西方約100kmのLaSalle County の Ottawa 町付近で General Dynamics Corp. の Material Service 部門が 1958年より焼成骨材を生産している。原料としてCanton頁岩を用いて coated type の骨材を生産している 全米最大の工場である。原料のおおよその化学成分はSiO₂ 57.37% Al₂O₃ 22.61% Fe₂O₃ 10.31% MgO 2.50% TiO₂ 1.62% S 0.81% (以上合計95.02%で CaO アルカリ 水が残りを占めるのであろう)となっている。

Iowa 州 Wisconsin 州

Iowa 州内で 軽量骨材用の頁岩資源を 広範囲にわたって調査した結果によると Maquoketa 層 Des Moines 統 Pleasanton 層群中の頁岩が骨材に向いていると報告されている。また Wisconsin 州では Maquoketa の頁岩が最適と報告されている。

Iowa 州内の Des Moines 統 Pleasanton 層群ともに Pennsylvania 紀(古生代石炭紀に相当する)に属するものである。Des Moines 統の頁岩は 灰~青色 純粘土質~石灰質で 化石に富んでいる時に 5~30cm 厚さの石灰岩を挟んでいる。Des Moines 統の分布は南中央 南東部に広く発達している。Pleasanton 層群中の頁岩は 暗灰色を呈し わずかに石灰質である。Maquoketa 層は Michigan, Wisconsin, Iowa, Illinois 州に広く分布する粘土質頁岩で Iowa 州では 頁岩は青緑色で時に化石に富んでいる。Maquoketa 層は Iowa 州では Mississippi valley (Illinois, Wisconsin 州境)に発達し Wisconsin 州では 東部の Green Bay 沿いに南へ延びて露出し また南西にも分布している。この Iowa, Wisconsin 州には 前カンブリア紀から古生代の岩石が広く分布し 一部に中生代白亜紀の岩石が分布している。中生代以後第三紀にかけての若い時代の堆積物は 白亜紀のものを除いて存在しない。また広く氷河期の堆積物によって それ以前の地質はおおわれている。

Iowa, Wisconsin 州での試験では 各時代の堆積岩の試料を採取し 比較的低温(約1200°C)で膨脹し 膨脹温度範囲の広いものを選び さらに量の豊富という点を検討して 前記の地層中の頁岩が良質と判定したのである。

1963年には Iowa 州 Appanoose County の Centerville で Carter-Waters Corp. (Missouri 州 Kansas City にある)によって頁岩が採掘されて 軽量骨材が製造されている。原料は Pleasanton 層群中の頁岩で 黄色~灰色を呈するものである。