

Figure 3-3: Ironstone (G-1-2)

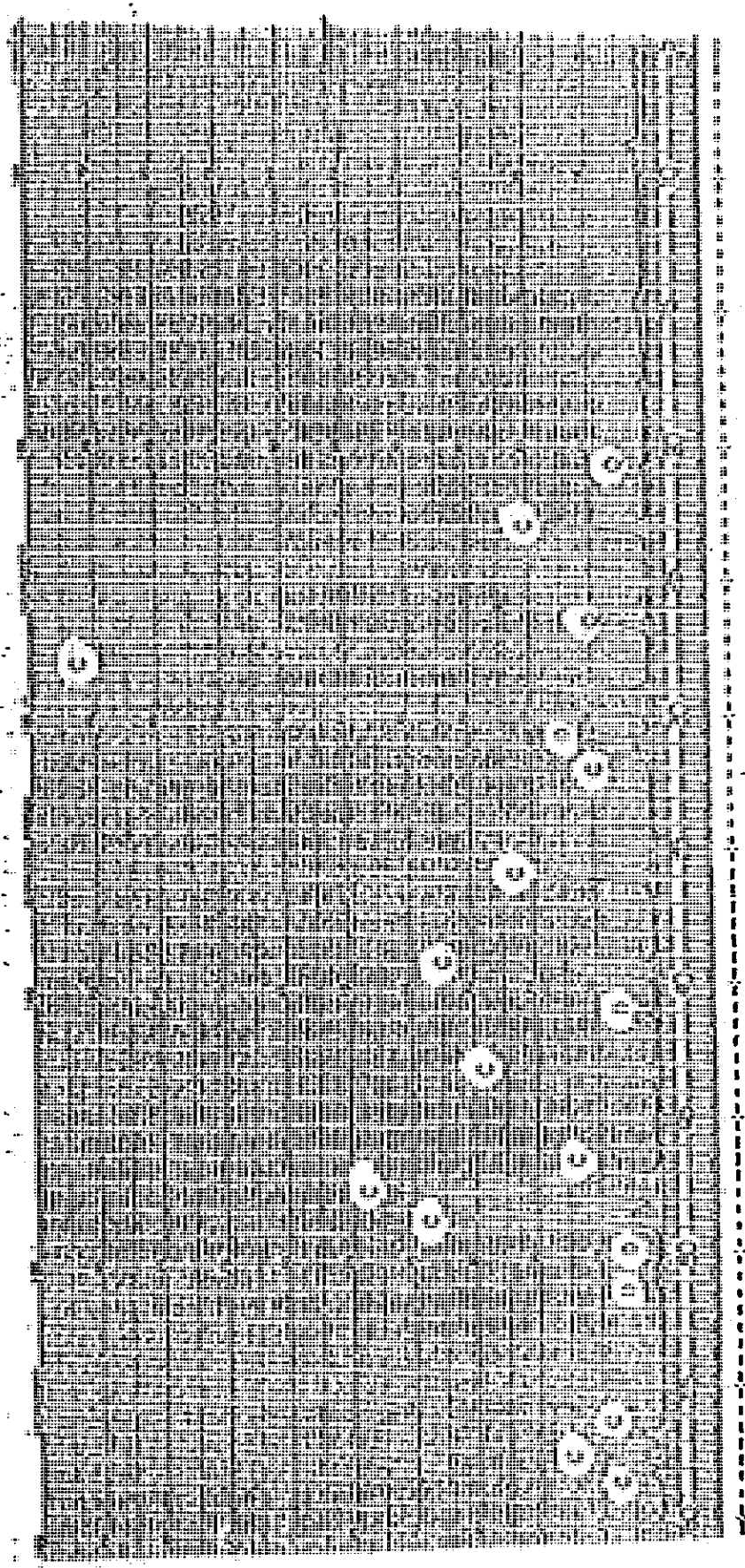


図 3-3 アイカン石灰石 (G-1-2)

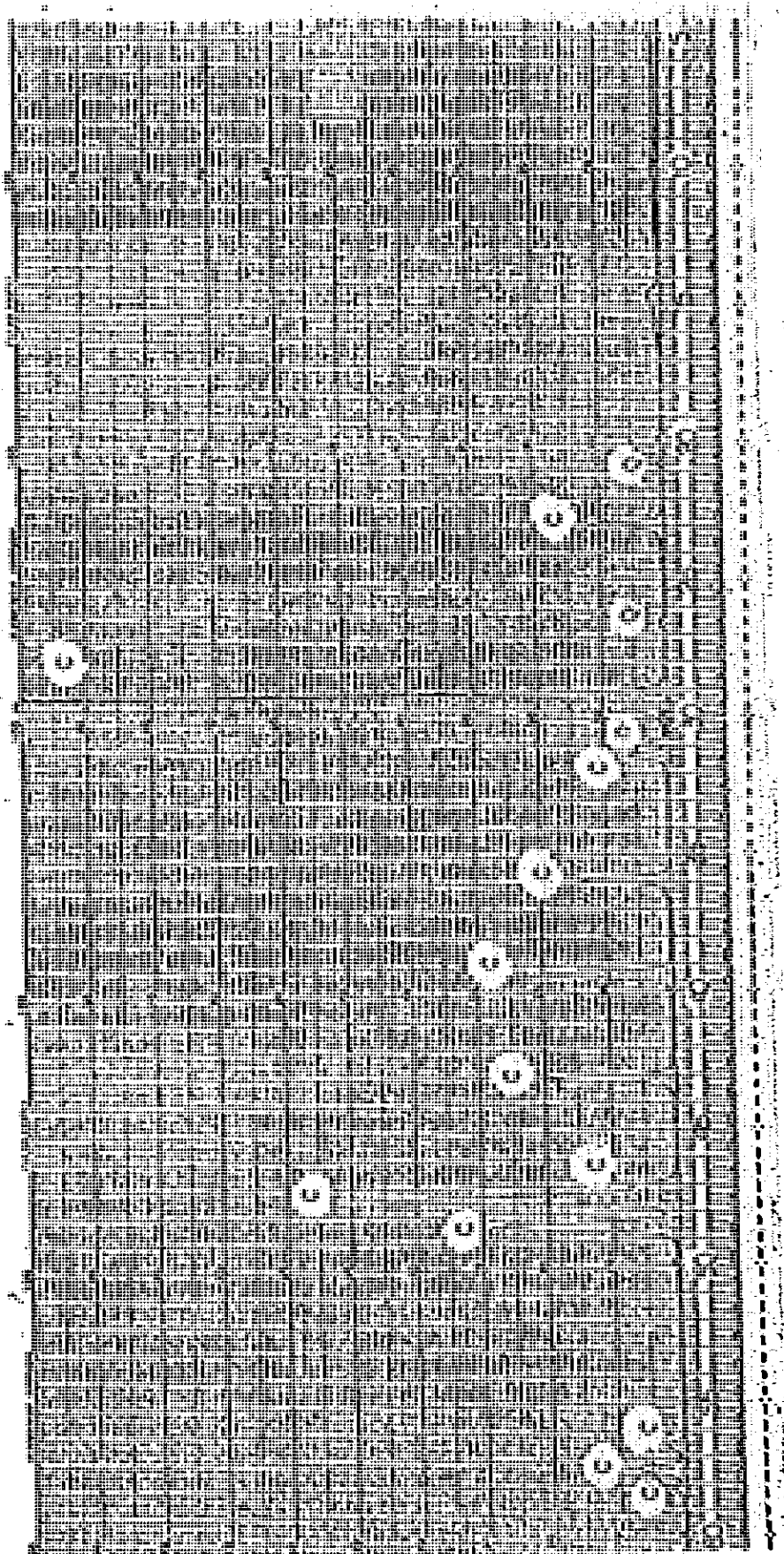


図 3 - 4 グアバンジヤン石灰石 (G-M-24)

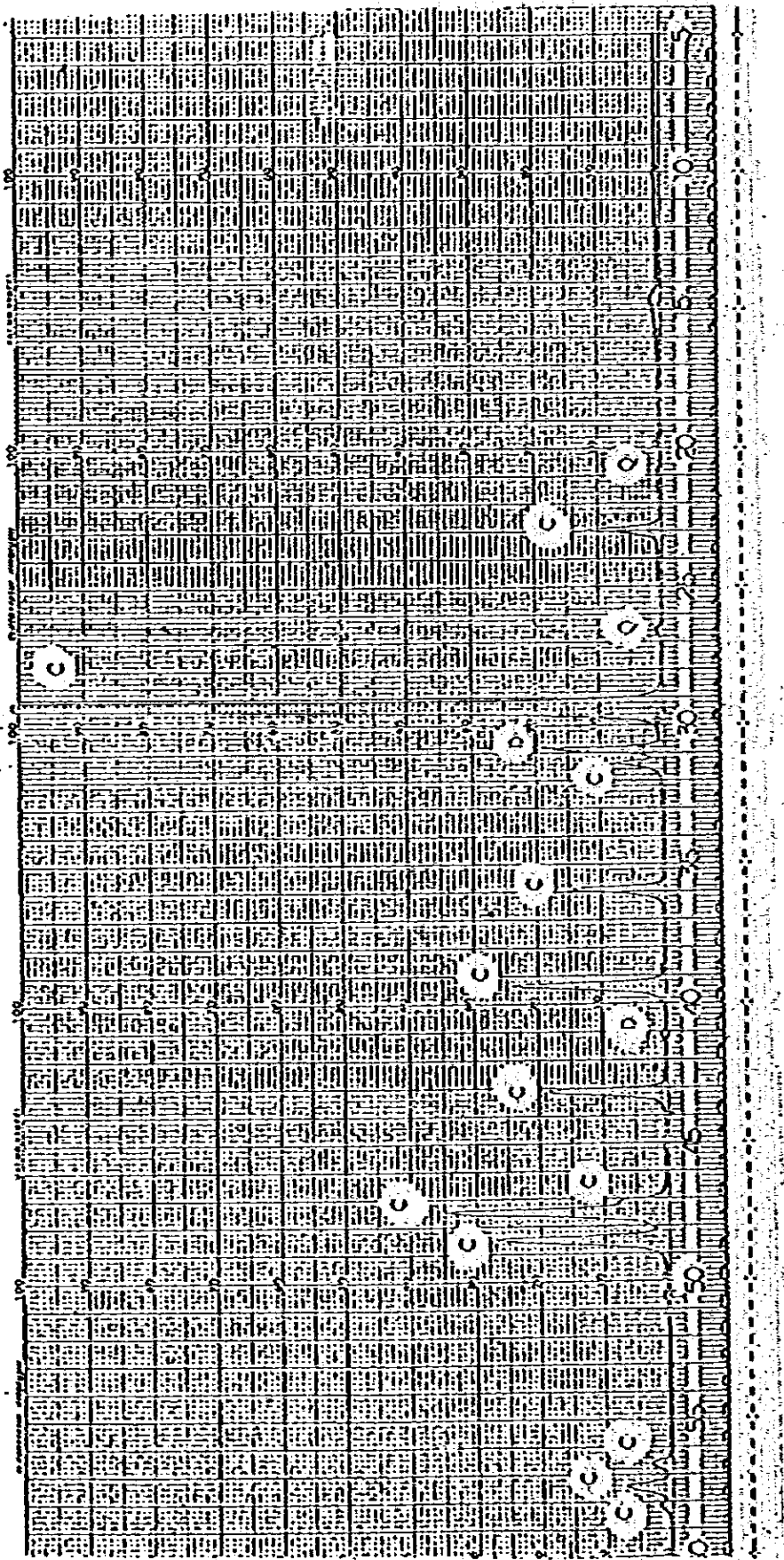


図 3-6 グアバンジン石灰石 (G-M-63)

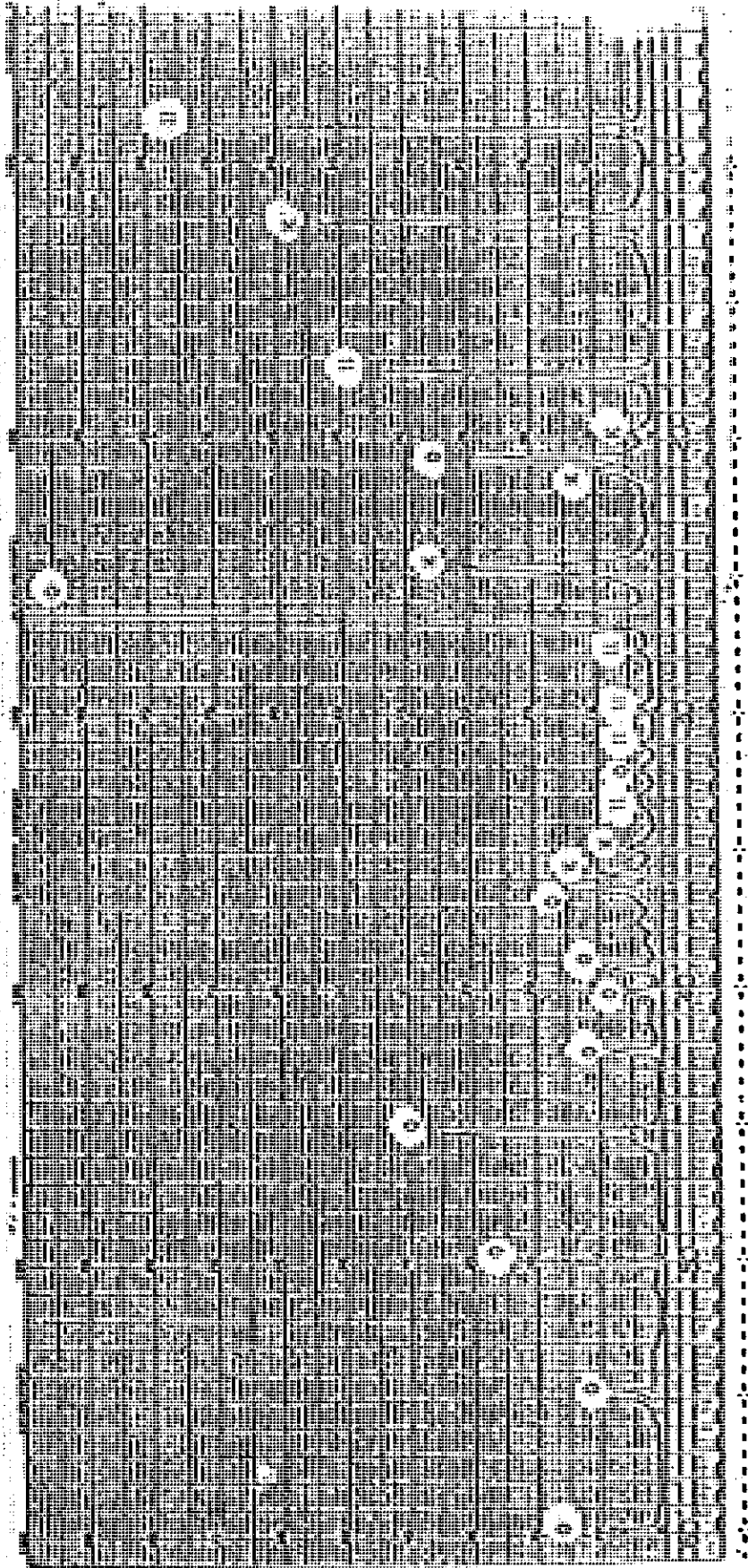


図3-7 タナメラ粘土(試料No.21-1)

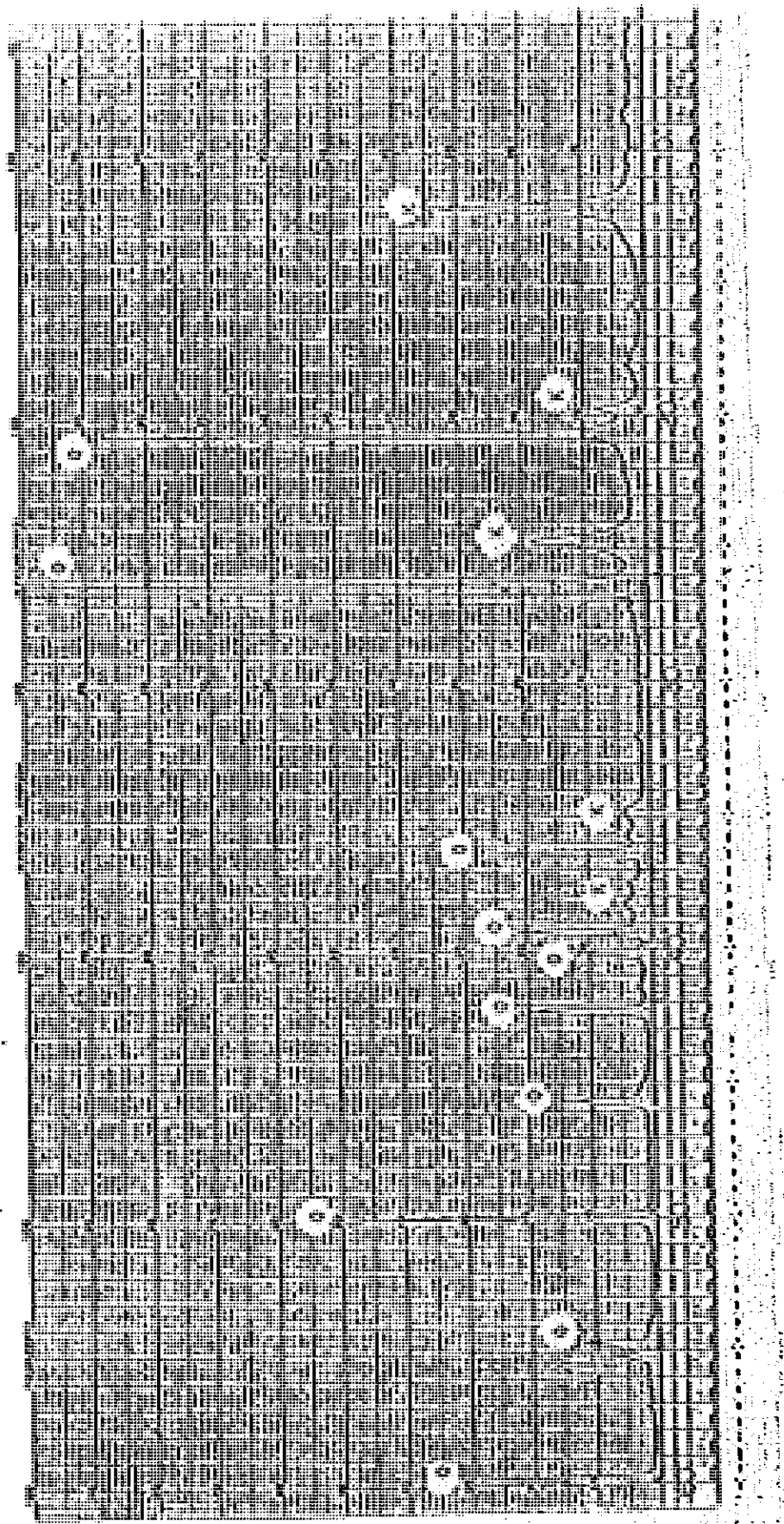


図 3-8 タナメチ粘土 (試料 No. 26-6)

12.12.1950
No. 21-5

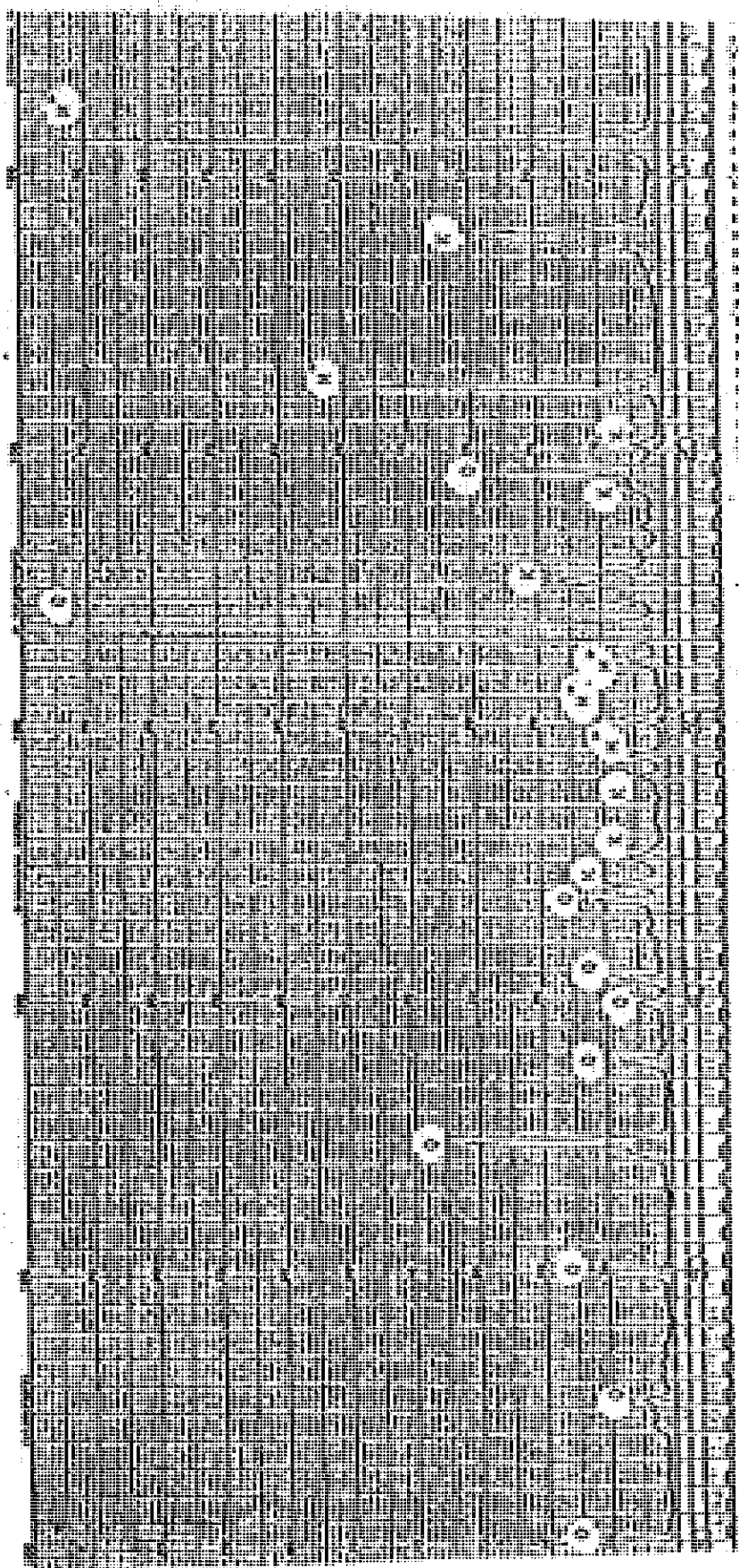


図 3-9 ジェリ粘土 (試料 No. 21-5)

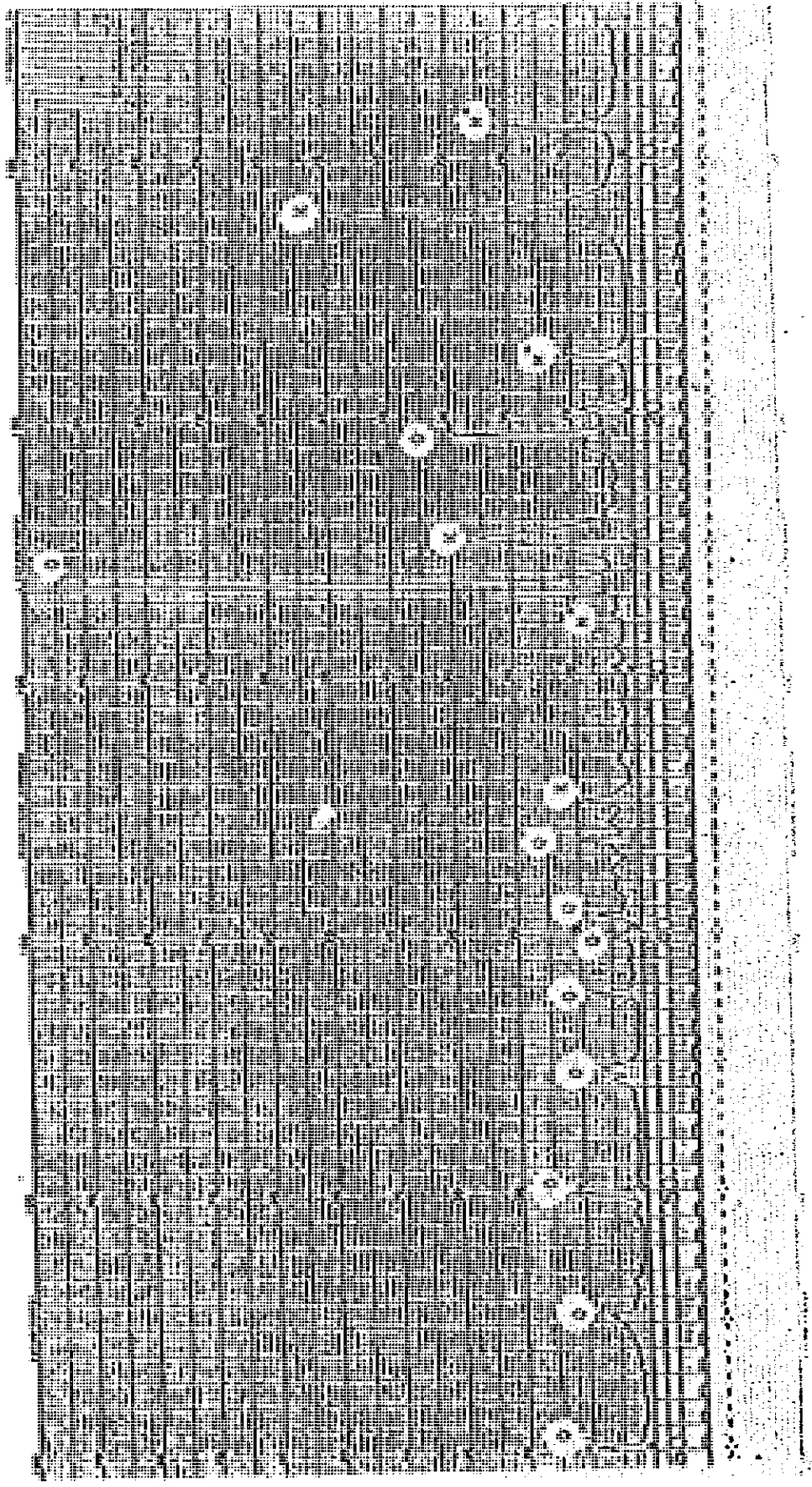


図 3-10 グラムサン粘土 (試料 No. 25-1)
(北東部)

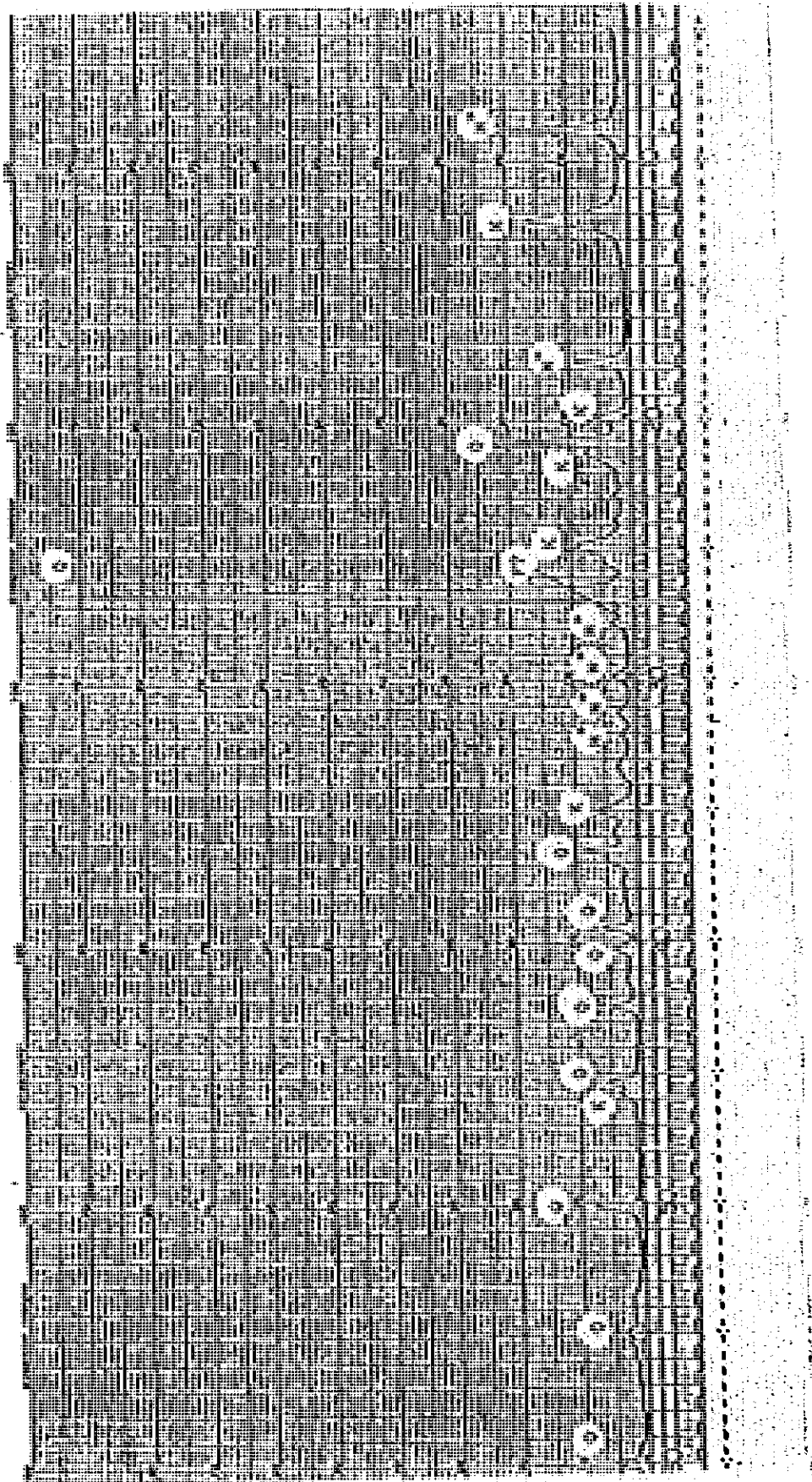


図 3-12 グラムサン粘土 (試料 No. 24-10)
(局部)

200 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200

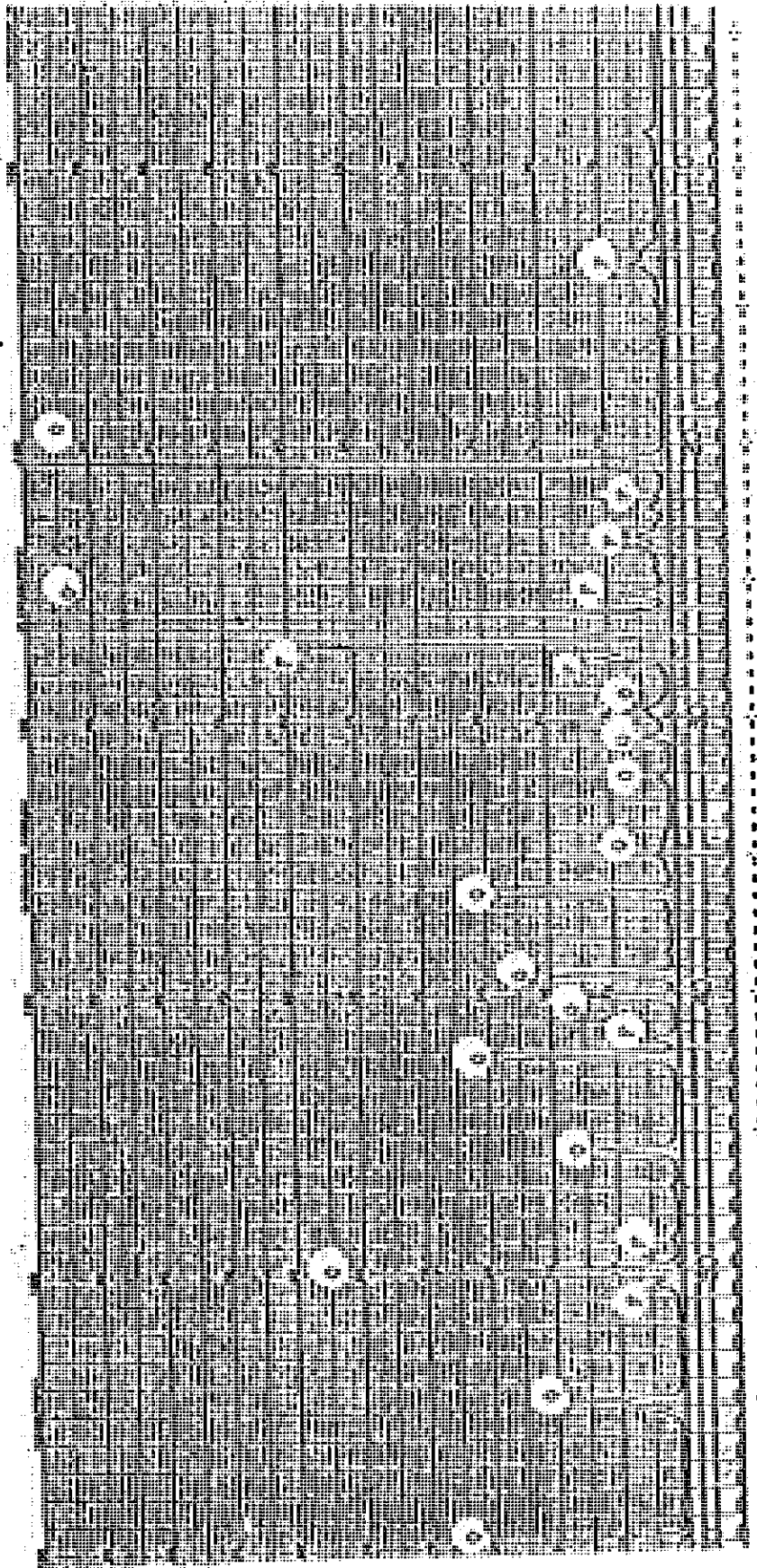


図 3-13 ケラタンタン川珪砂 (試料 No. 27-4)

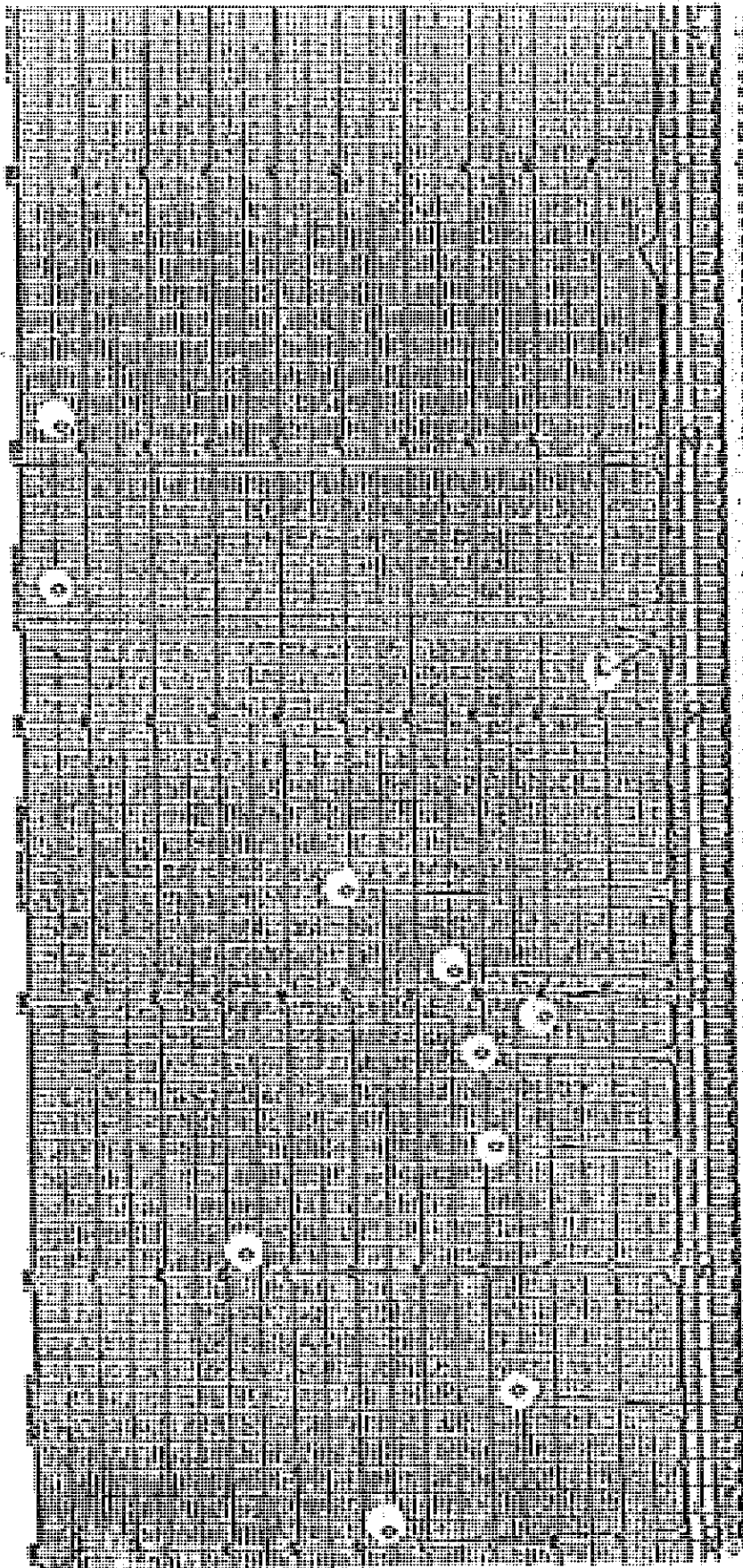


図 3-14 パチエック型砂 (試料 No. 28-1)

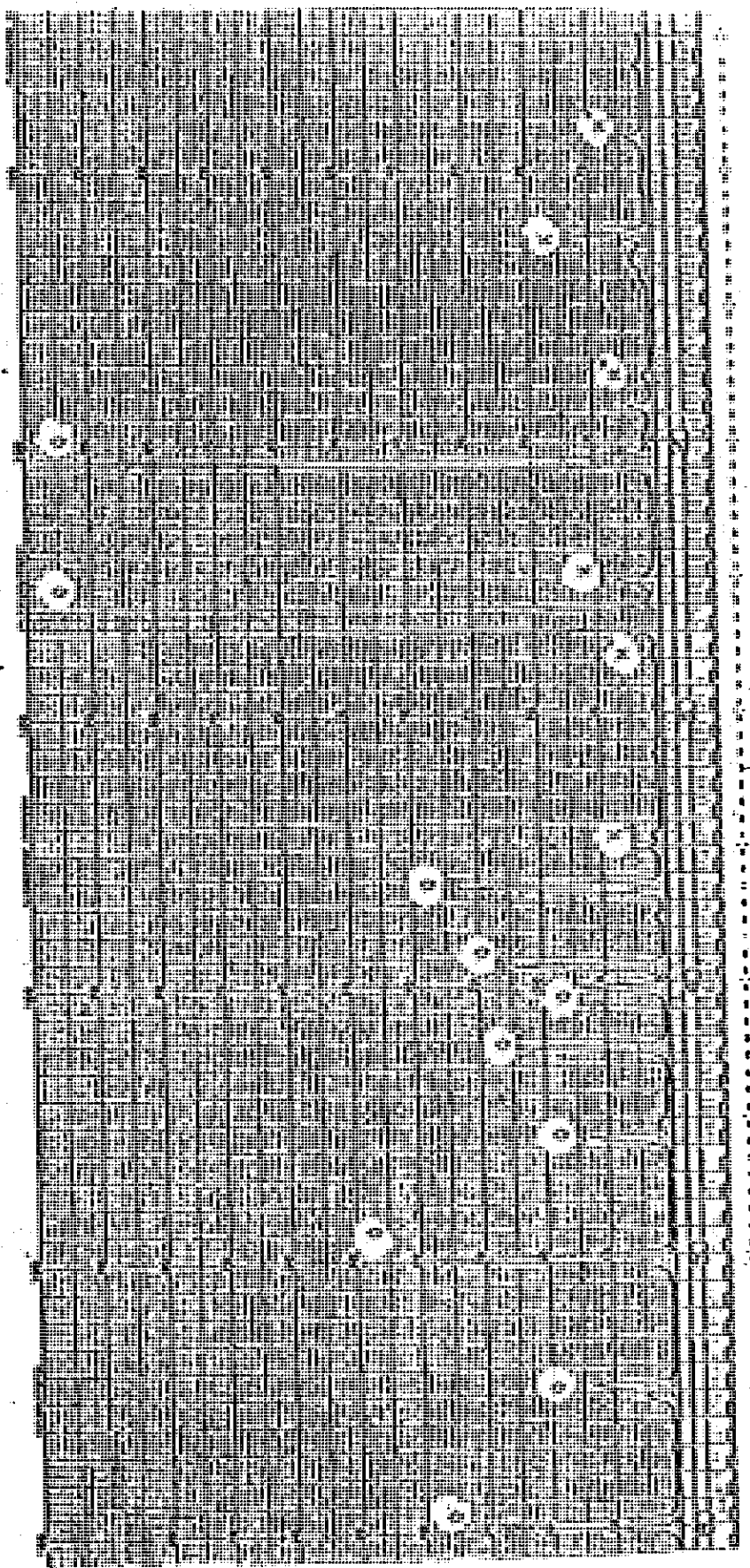


図 3-15 グラムサン理老 (試料 No. 23-3)
(兩東部)

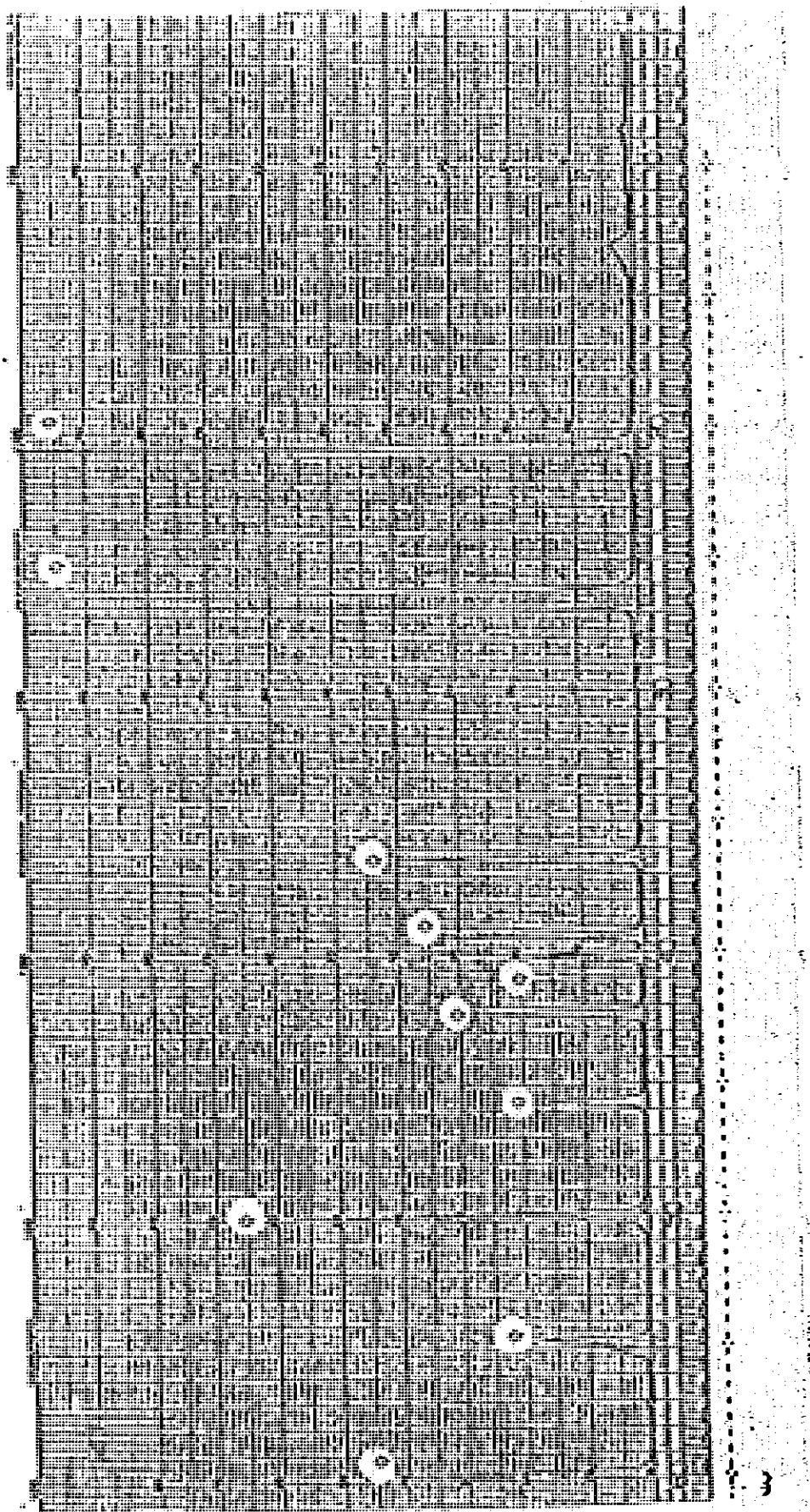


図 3-16 クアング山理岩 (試料 No. 7-1)

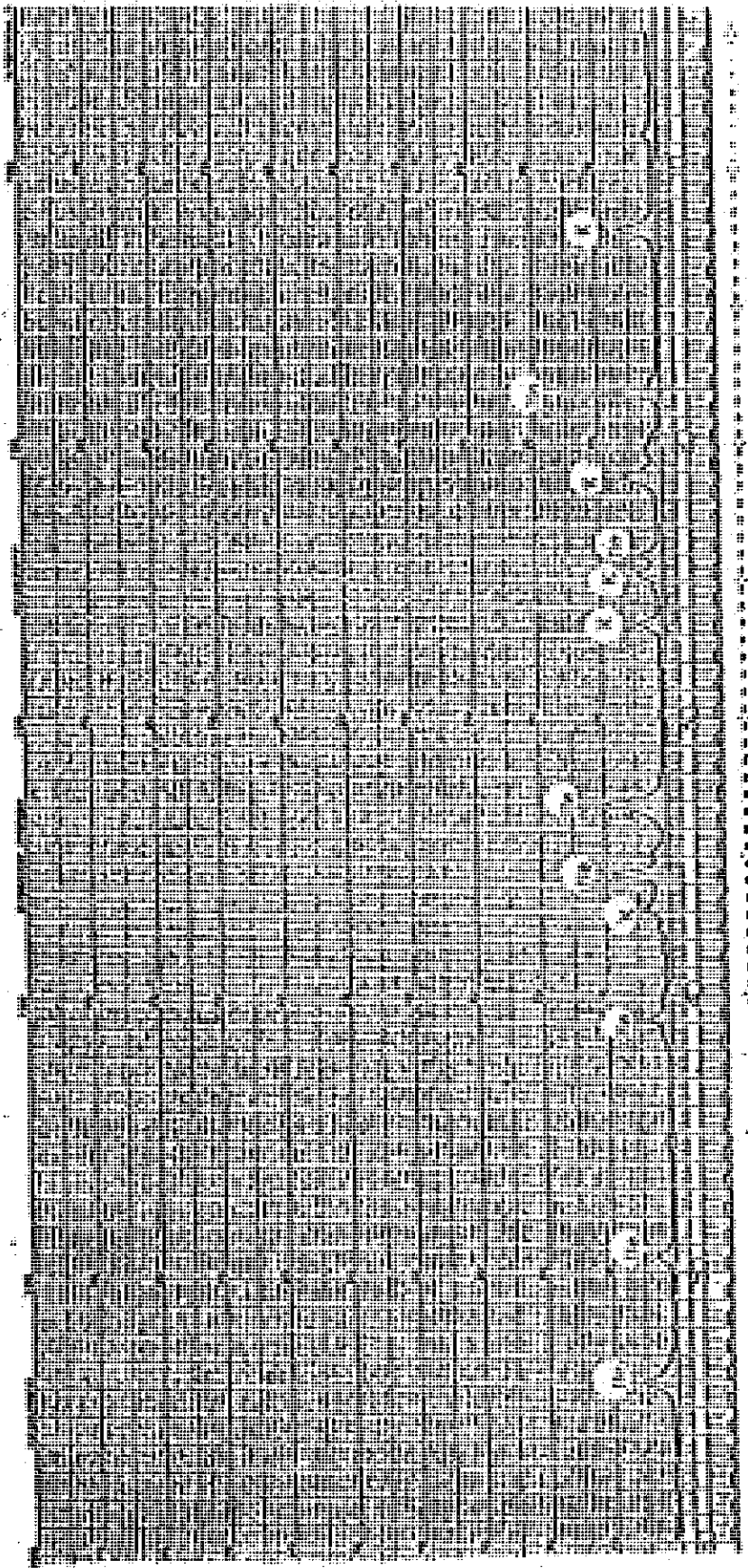


図 3-17 ラタ山鉄鉱石。(試料 No. 1-5)

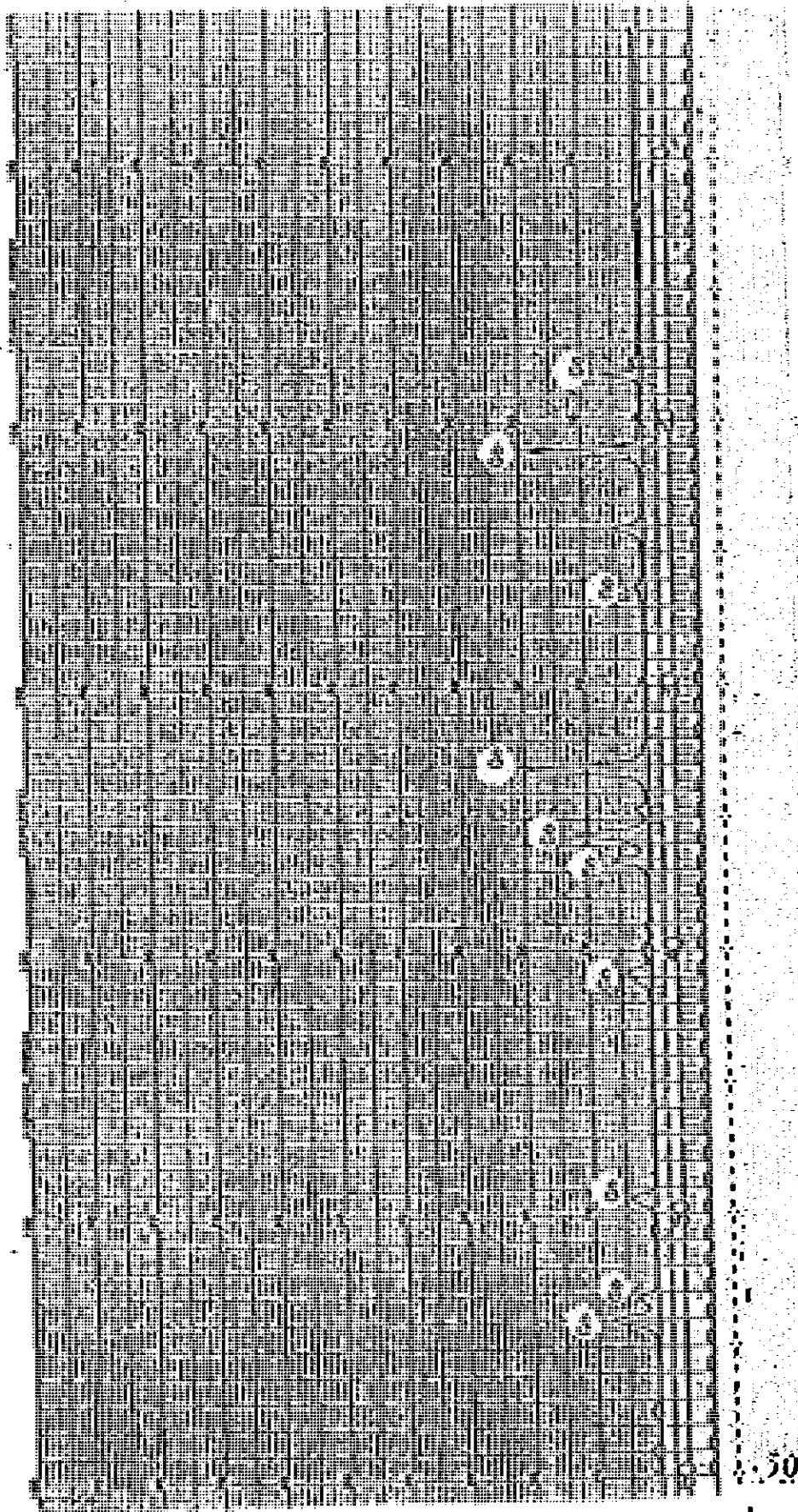


図 3-18 マンガン鉄鉱石 (試料 No. 19-3)

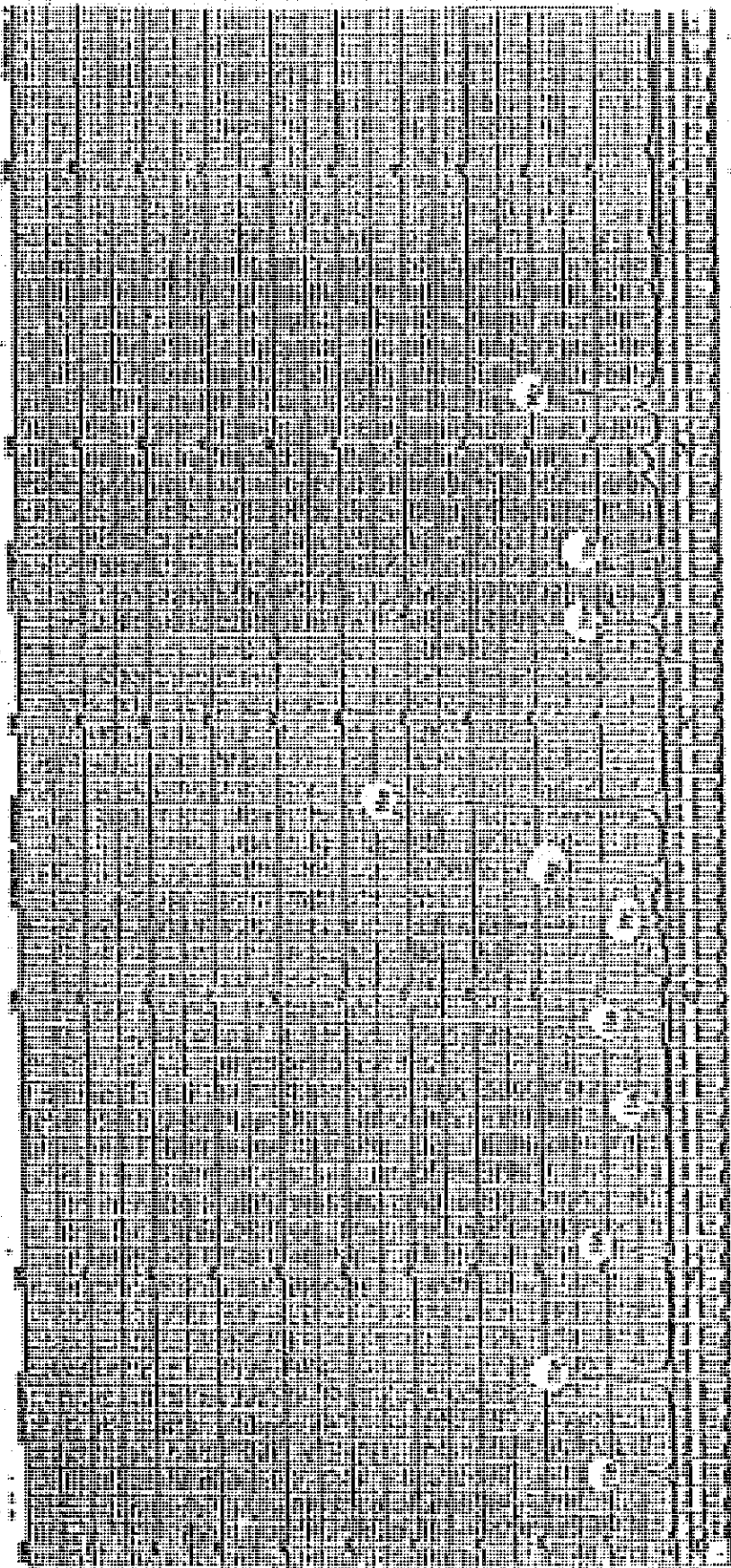


圖 3 - 19 鐵 礦 (Perak Iron Mining Co.)

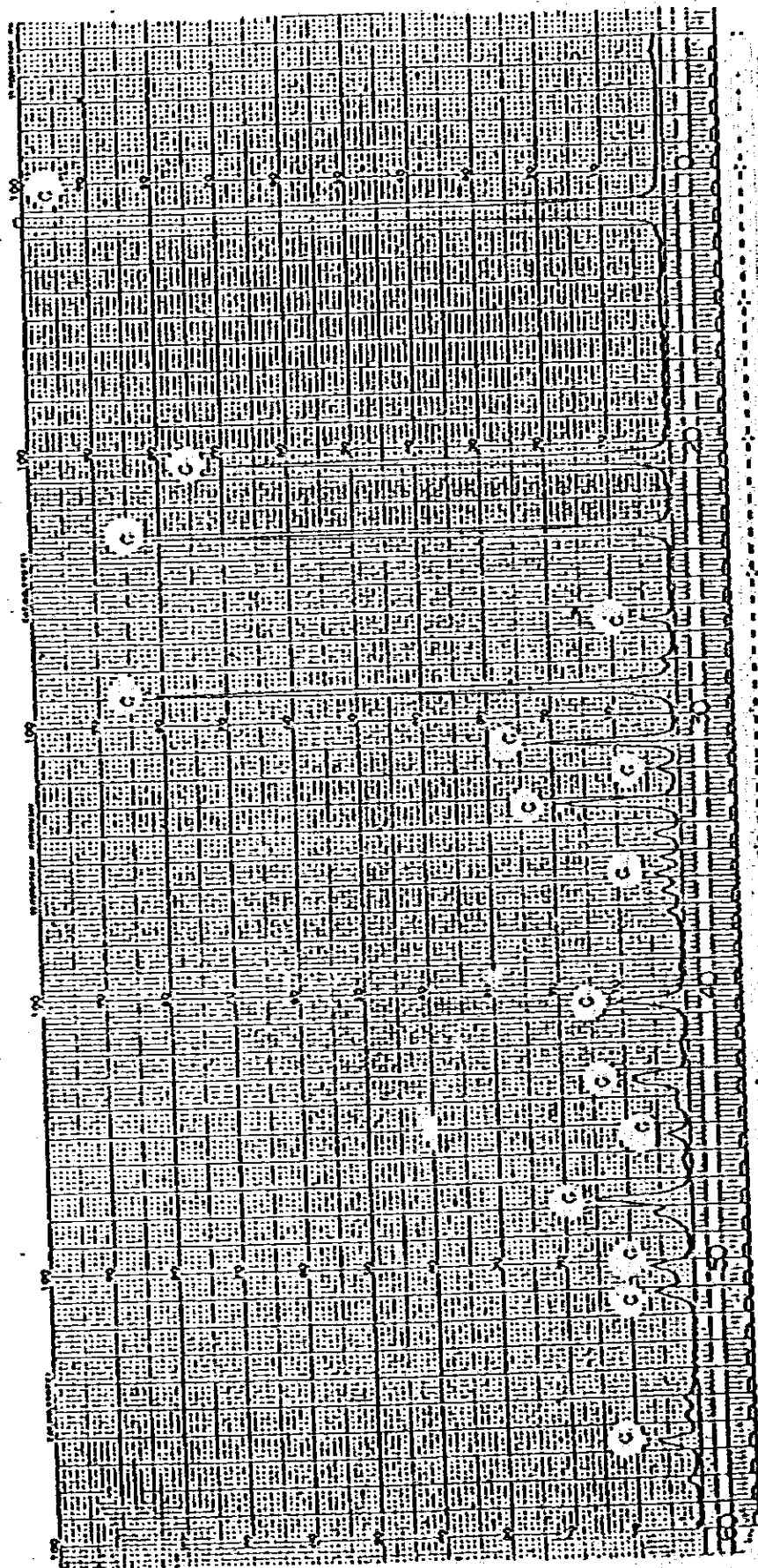


图 3-20 石 膏 (夕イ)

4. 熱 分 析

試料は 149 μ の篩全通となるまで粉砕し、粉砕した試料は 105°C 24 時間通風乾燥機を用いて乾燥する。

乾燥前処理を終した試料は、理学電機 8076 D-1 の熱分析装置を用いて熱分析の測定を行った。熱分析の測定条件は次の通りである。

昇温速度	20°C/min
温度感度	20 mV
DTA 感度	$\pm 100 \mu V$
TOA 感度	20mg full Scale
チャート速度	5 mm/min
熱電対	Pt-Pt Rh (13%)
キャリアーガス	空 気
試料量	41 ~ 44mg

熱分析の典型的なチャートパターンを図 4-1 ~ 4-2 に示す。

また DTA による測定結果及び TG による測定結果 (減量) を図 4-3 及び図 4-4 に各々示す。

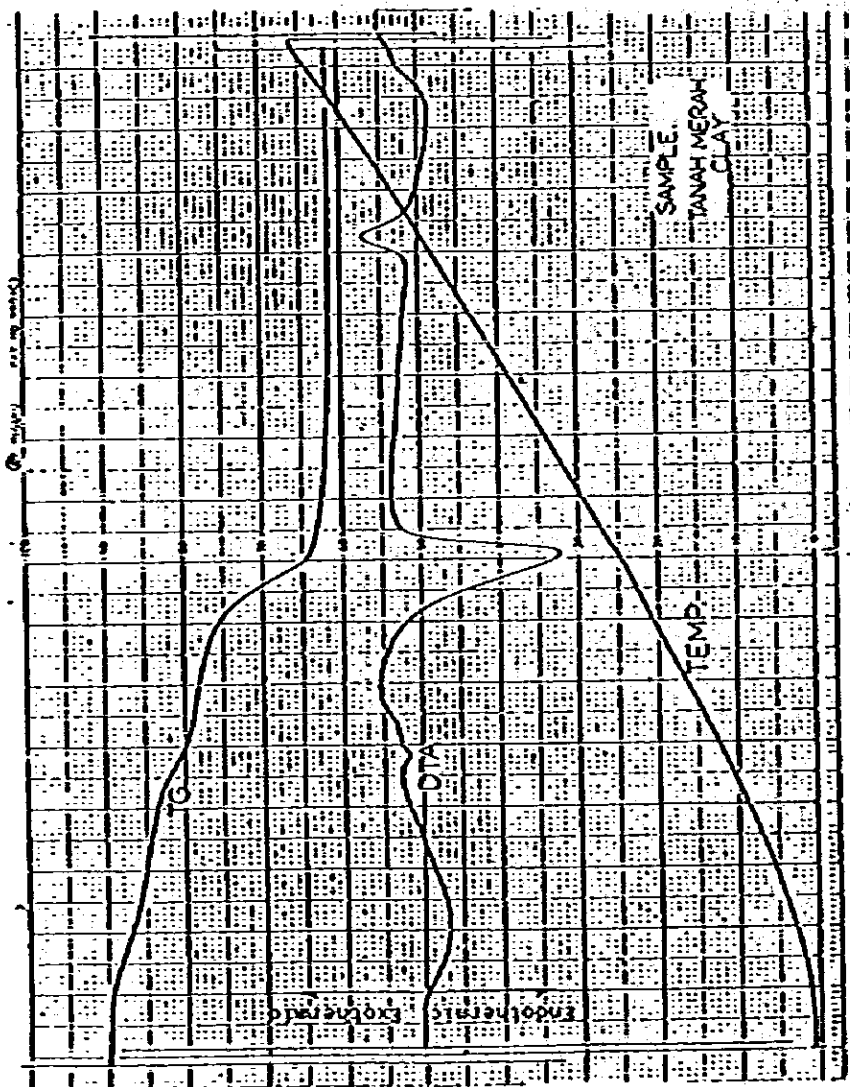


圖 4 1-1 土質分析

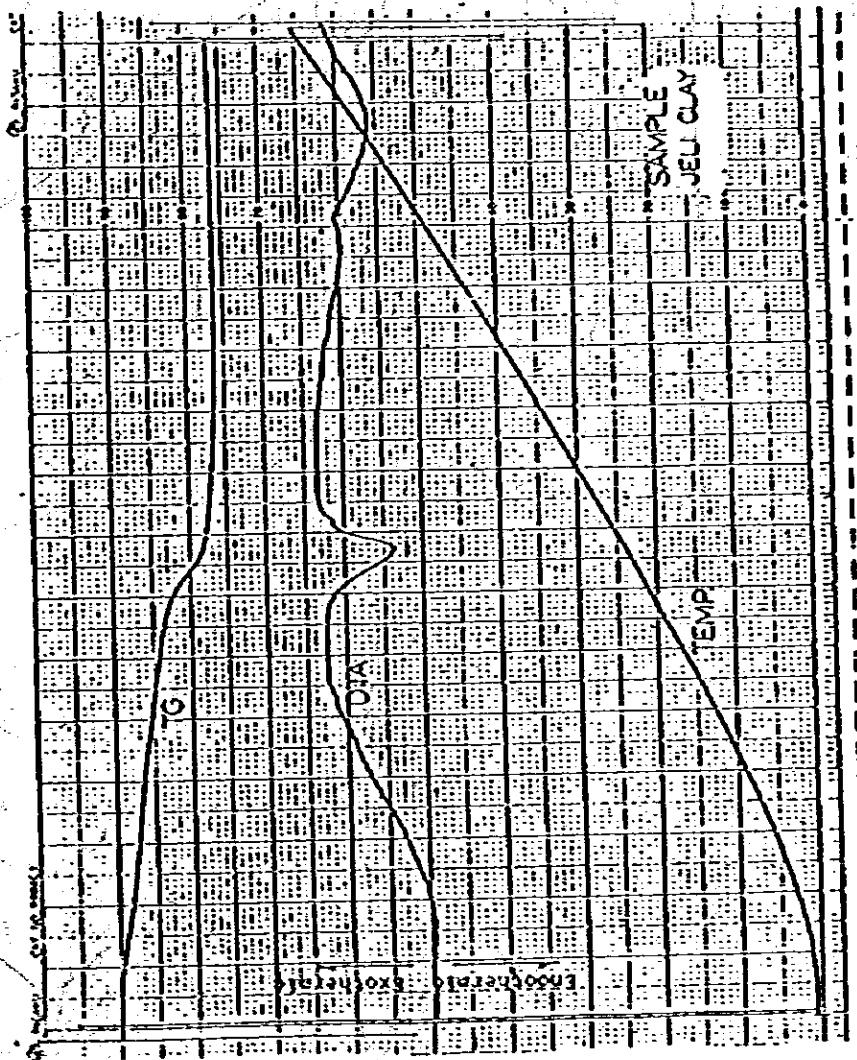


図 4-2 熱分析チャート

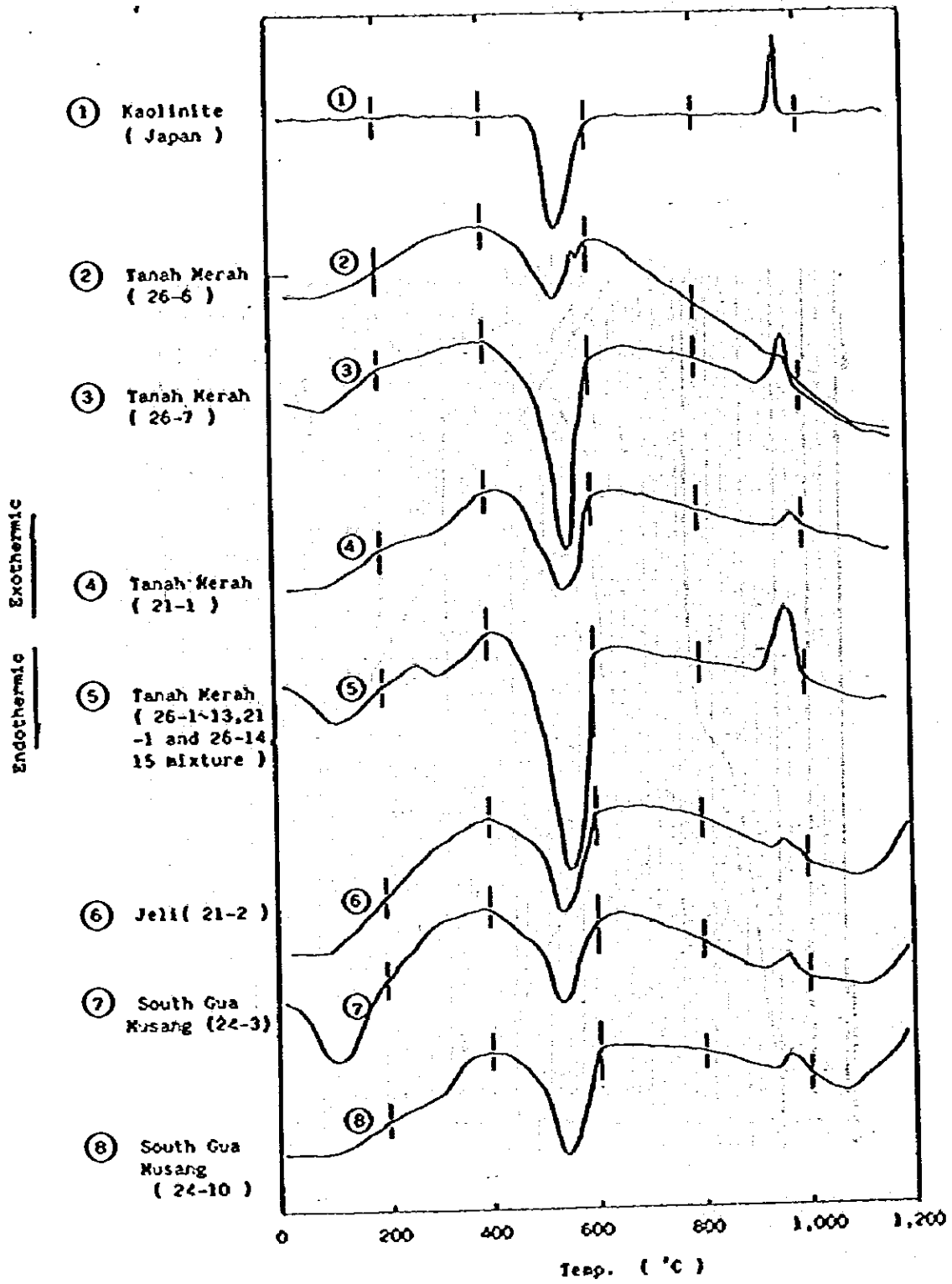
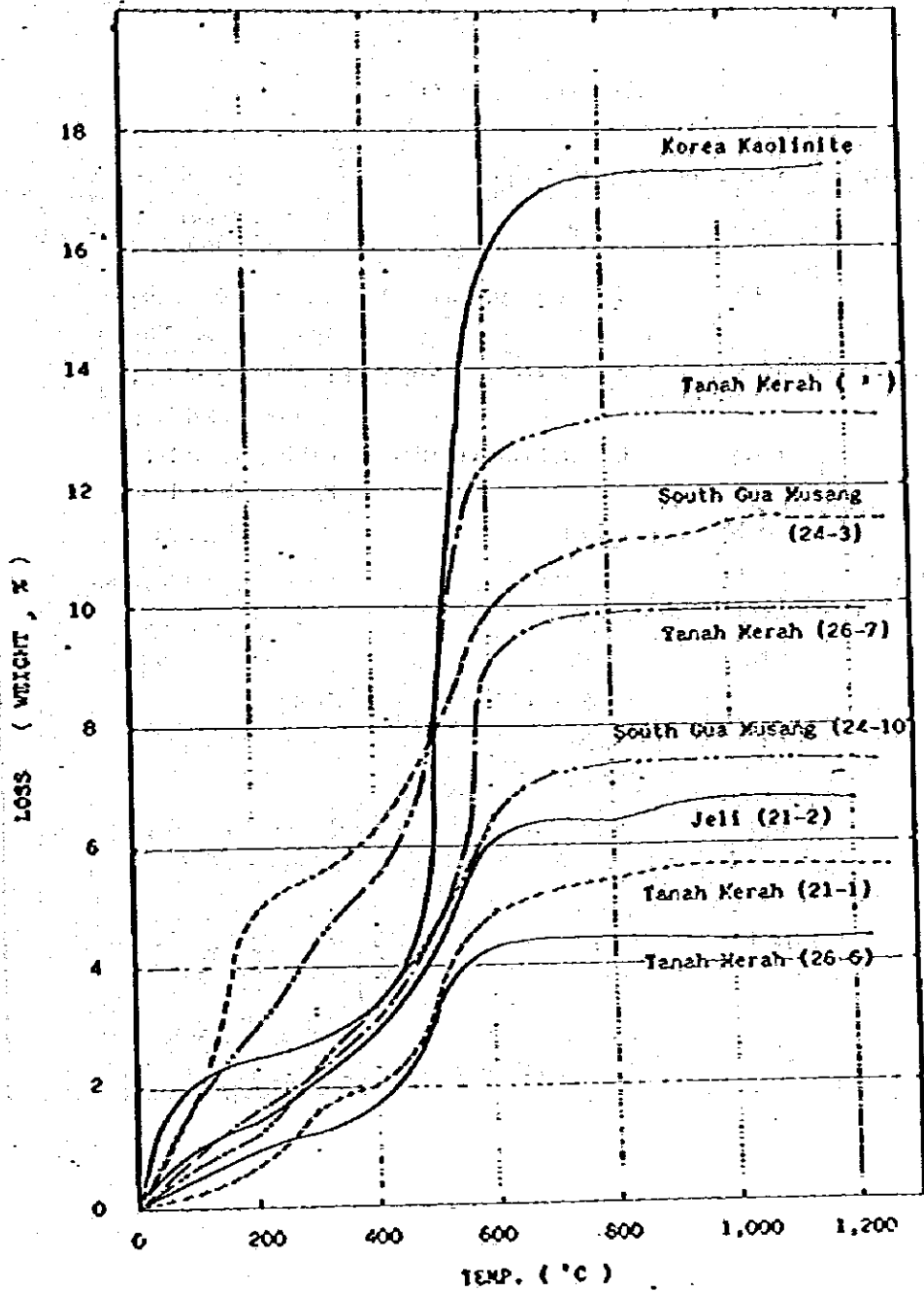


图4-3 D.T分析結果



(): Sample Number • : 26-1-13, 21-1 and 26-14 mixture

圖 4-4 T.O 分析結果

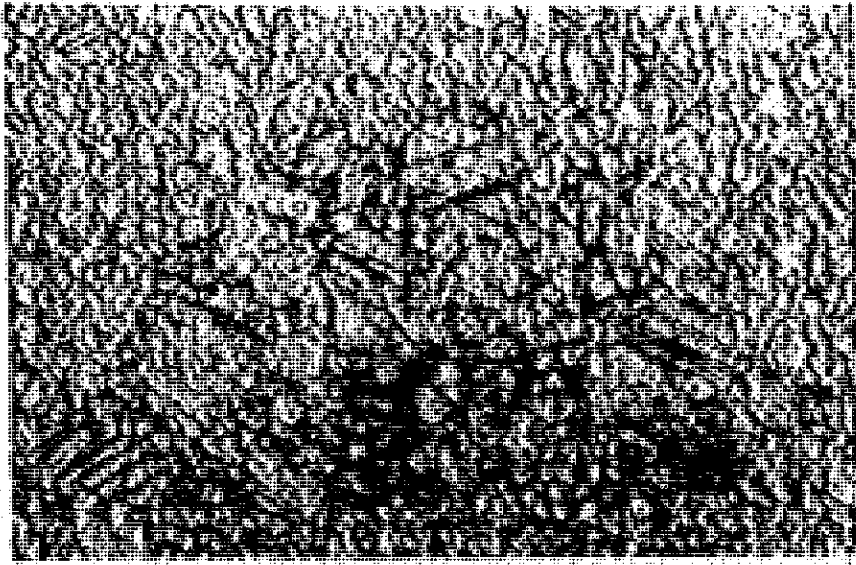
5. 顕微鏡観察

採取した各種試料から約30 μ の厚さの薄片を作成し、偏光顕微鏡によって鉱物の観察を行った。顕微鏡観察によって確認された各種鉱物の形態を要約して下表に示し、更に写真5-1~5-12には、顕微鏡写真を示す。

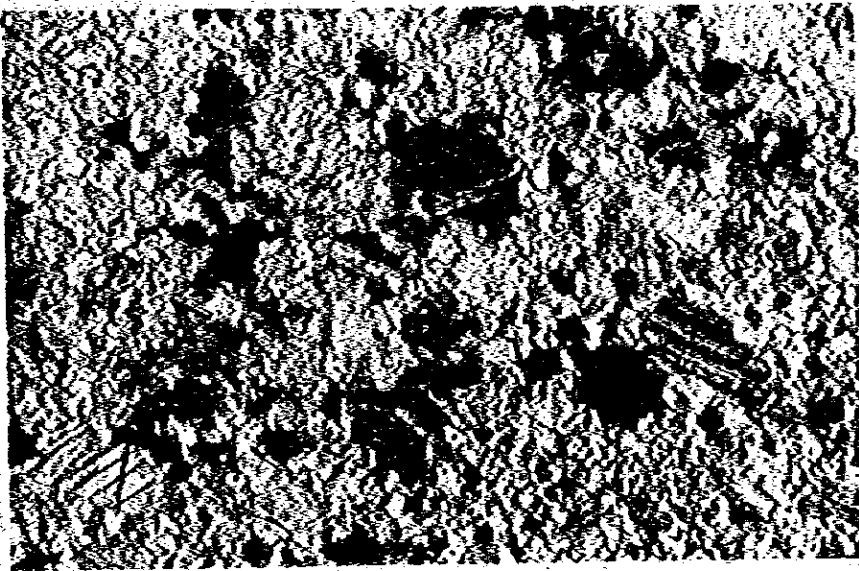
顕微鏡による観察結果

Name of Sample	Sample No.	Minerals Observed	Size of Crystals
Gua Setir Limestone	GS-1	Calcite	Calcite; about 10~200 μ m
Limestone near Dabodg	GI-2	Calcite, Quartz (a little)	Calcite; 10~200 μ m Quartz; about 200 μ m
	GI-5	Calcite, Quartz (a little)	Calcite; 10~200 μ m Quartz; about 100 μ m
	GI-2	Calcite, Pyrite (a little)	Calcite; about 10 μ m Pyrite; about 10 μ m
Gua Panjang Limestone	GP-20	Calcite	Calcite; about 30~100 μ m
	GP-43	Dolomite	Dolomite; 100~200 μ m
	GP-60	Calcite Quartz (a little) Pyrite (a little)	Calcite; about 10 μ m Quartz; about 100 μ m Pyrite; about 20 μ m
Silica rock	I-1	Quartz Calcite	Quartz; 30~100 μ m
	23-3	Quartz Feldspar	Quartz; 20~200 μ m Feldspar; 100 μ m
Shale	24-4	Quartz Mica Clay	Quartz; } Mica; } less than 10 μ m Clay; }
Granite	27-4	Quartz, Biotite Potassium Feldspar	Quartz; 400~1000 μ m Biotite; 100 μ m

写真5-1 グアセチール石灰石（試料No. GS-1）



Open Nicol

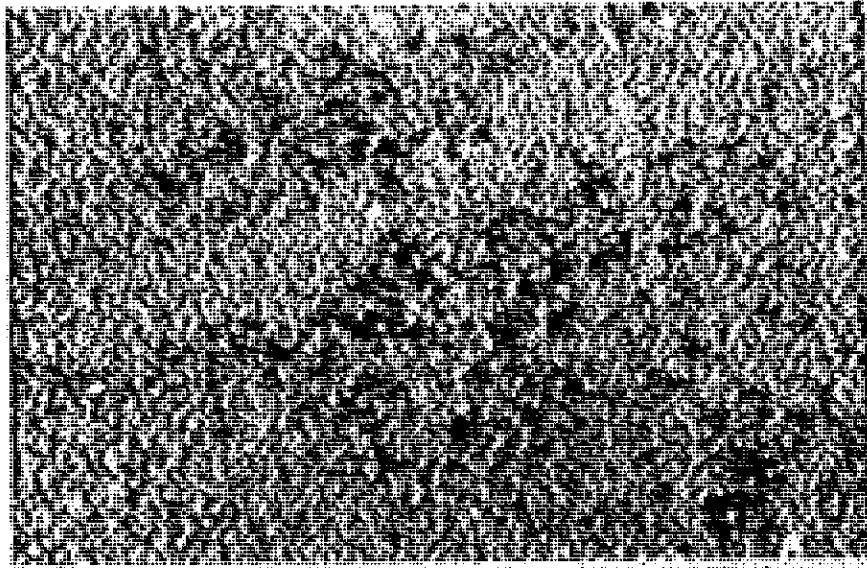


Close Nicol

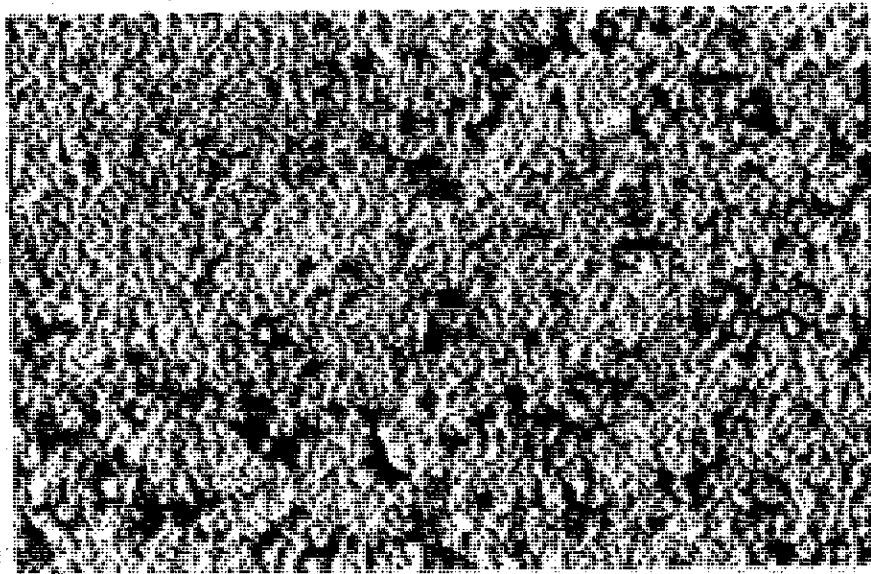
200 μ m

この試料ではカルサイトの結晶のみが観察される。
結晶粒の大きさは10～200 μ m程度で、微晶質石灰石である。
多くの劈開線が観察される。

写真5-2 グアイカン石灰石(試料No. GI-2)



Open Nicol

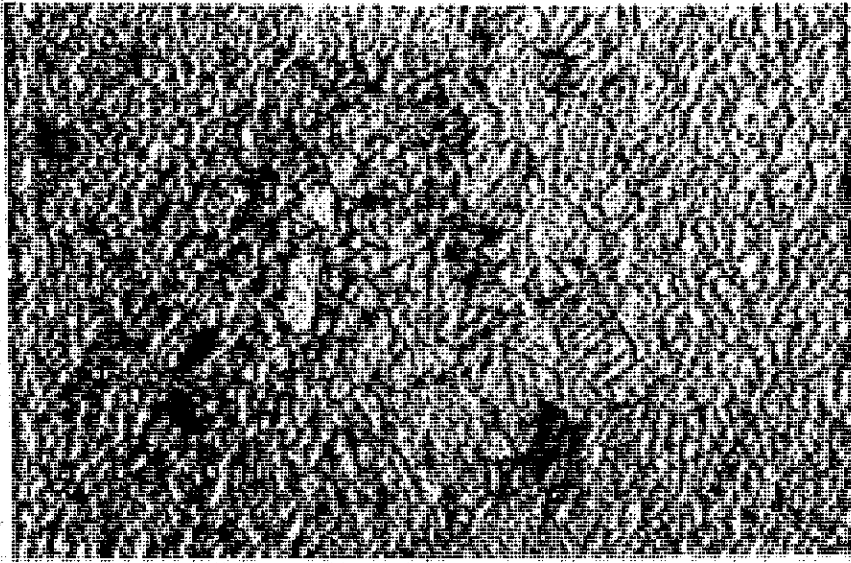


Cross Nicol

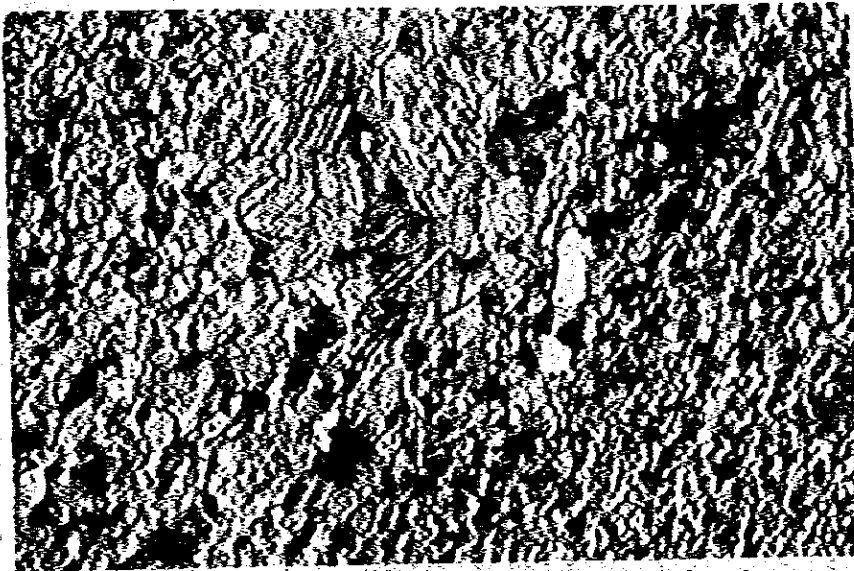
200 μ m

この試料は、大部分カルサイトの結晶よりなるが、一部角礫状の石英粒子が観察される。
カルサイト結晶は10~200 μ m程度で、大部分は50 μ m程度のものである。
石英粒子は角礫状を示し、約200 μ m程度の大きさである。
カルサイト結晶については多くの劈開線が観察される。

写真5-3 グアイカン石灰石(試料No.01-5)



Open Nicol

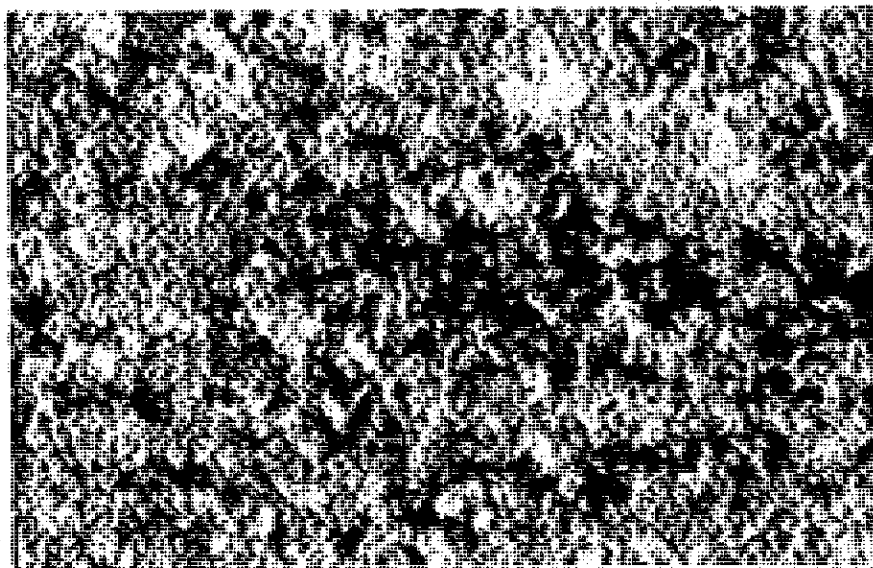


Cross Nicol

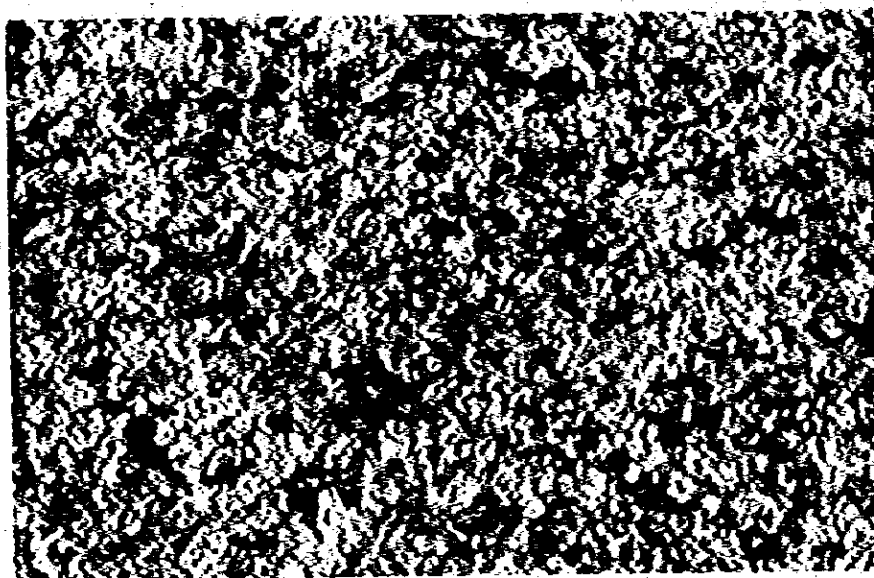
200 μ m

この試料は、大部分カルサイトの結晶からなり、一部角稜状の石英粒子が観察される。
カルサイト結晶は10~200 μ m程度で大部分は50 μ m程度のものである。
石英粒子は約100 μ m程度の大きさで、ほぼ一定の層準に配列している。
カルサイト結晶には、多くの劈開線が観察される。

写真5-4 ダアテンバカウ 石灰石 (試料No.GT-2)



Open Nicol



Cross Nicol

200μm

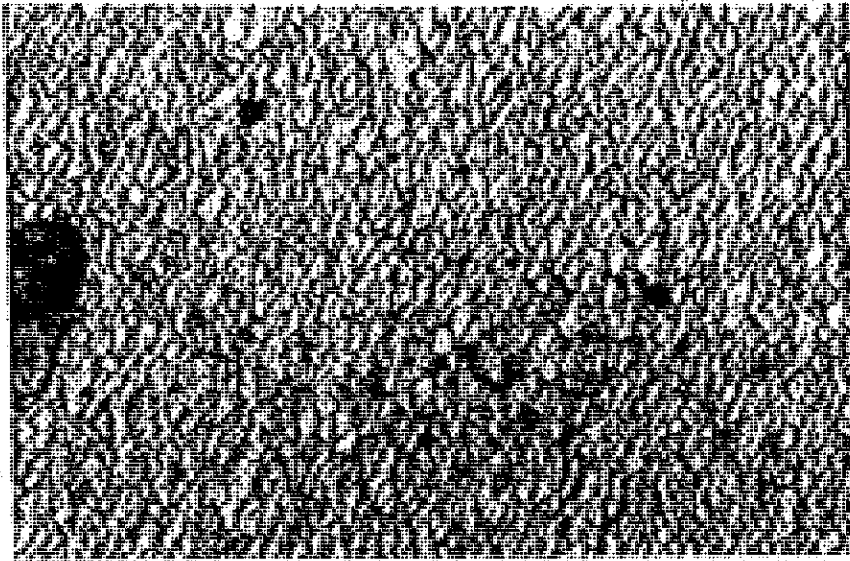
この試料は、大部分カルサイトの結晶よりなるが、一部黄鉄鉱と推定される鉄鉱物の結晶が認められる。

又、オープンニコル下では、灰色粘土等の粒子が認められる。

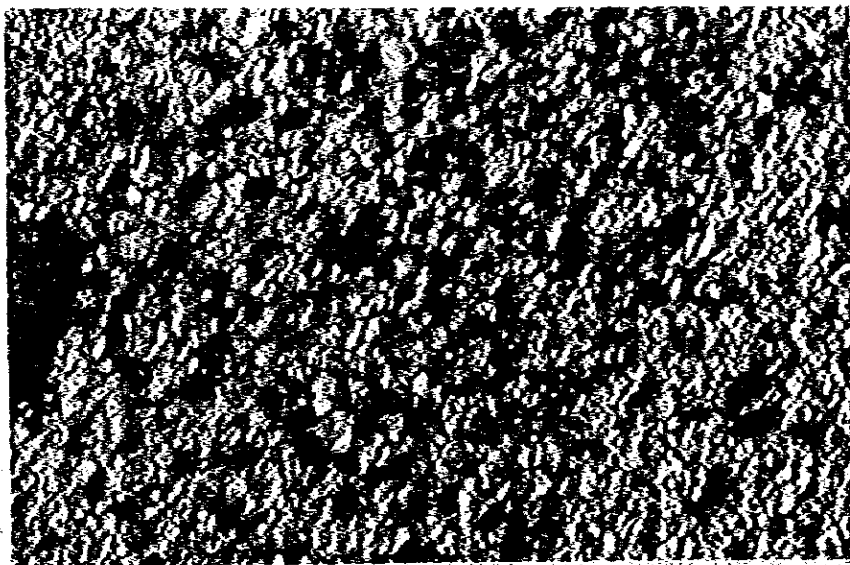
カルサイト結晶は、10μm程度の等粒状で、微晶質石灰である。

尚、カルサイト結晶には多くの劈開線が観察される。

写真5-5 グアバンジャンブロック人石灰石 (試料No.GP-20)



Open Nicol

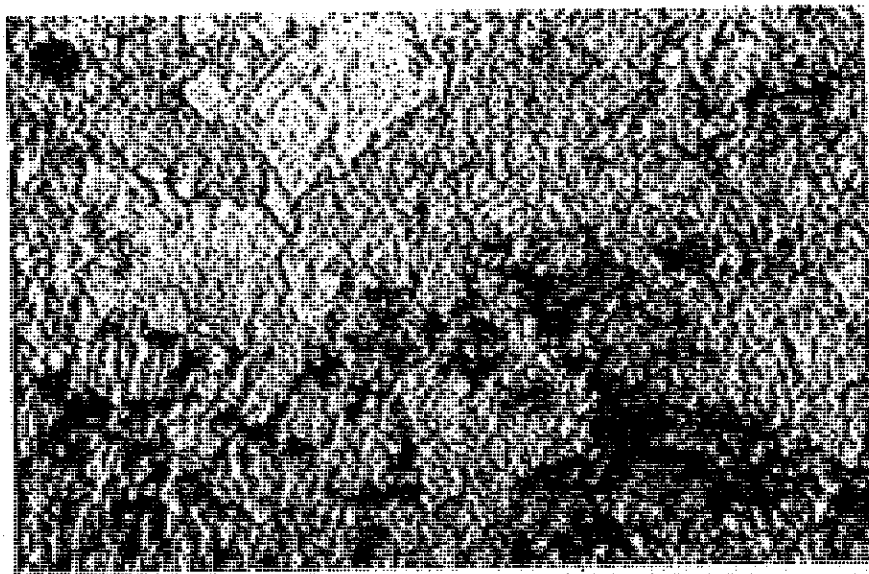


Cross Nicol

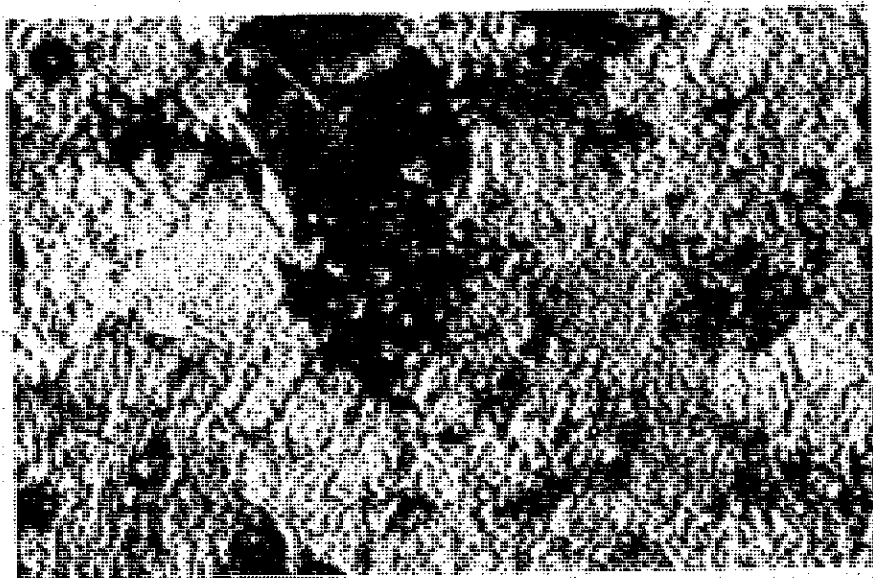
200μm

この試料は、カルサイトの結晶のみが観察される。
カルサイトの結晶粒子の大きさは、30～100μm程度である。
カルサイトの結晶には、多くの劈開線が観察される。

写真 5-6 グアバンジャンブロック B 石灰石 (試料 No. GP-43)



Open Nicol

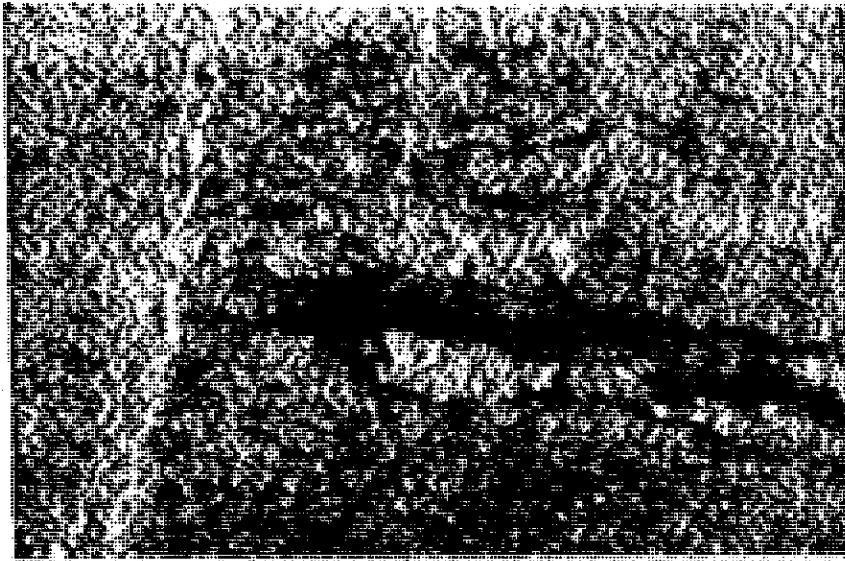


Cross Nicol

200 μ m

この試料では、ドロマイトの結晶が多く観察される。
ドロマイトの結晶粒子の大きさは100～200 μ m程度である。
ドロマイトの結晶中には、カルサイト結晶と同様に多くの劈開線が観察される。

写真 5-1 グアバンジャンブロック0石灰石 (試料 No. GP-60)



Open Nicol



Cross Nicol

200 μ m

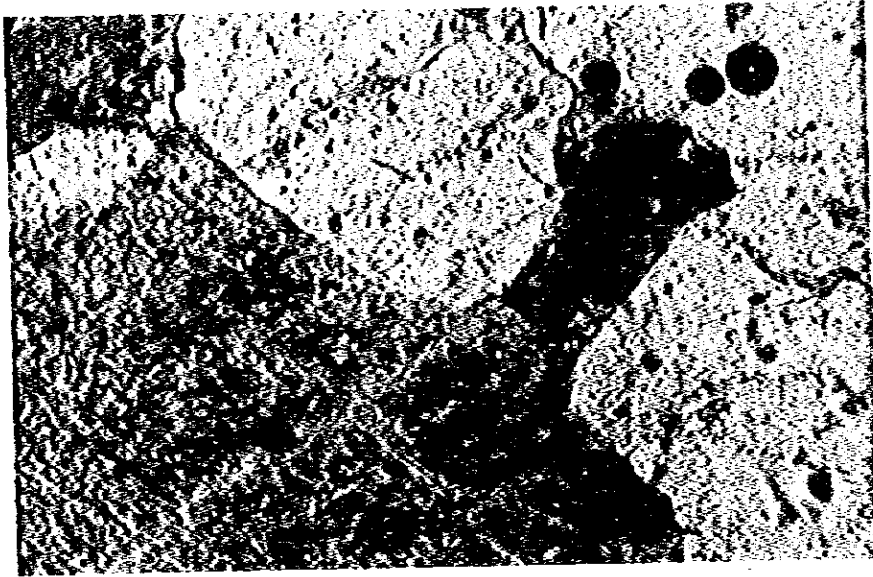
この試料ではカルサイト結晶が大部分であるが、一部角稜状の石英粒子及び微粒の黄鉄鉱、粘土が観察される。

カルサイトの結晶粒子の大きさは、10 μ m程度である。

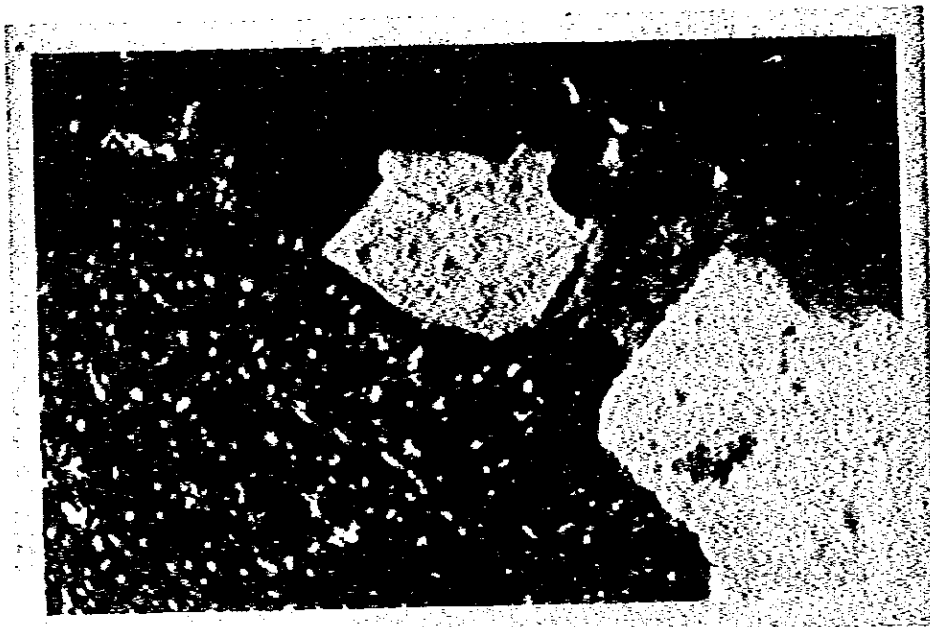
石英粒子の大きさは、約10 μ mで層状に配列している。

黄鉄鉱及び粘土も石英同様、層状に分布し、粒子の大きさは約20 μ m程度である。

写真5-8 花こう岩



Open Nicol

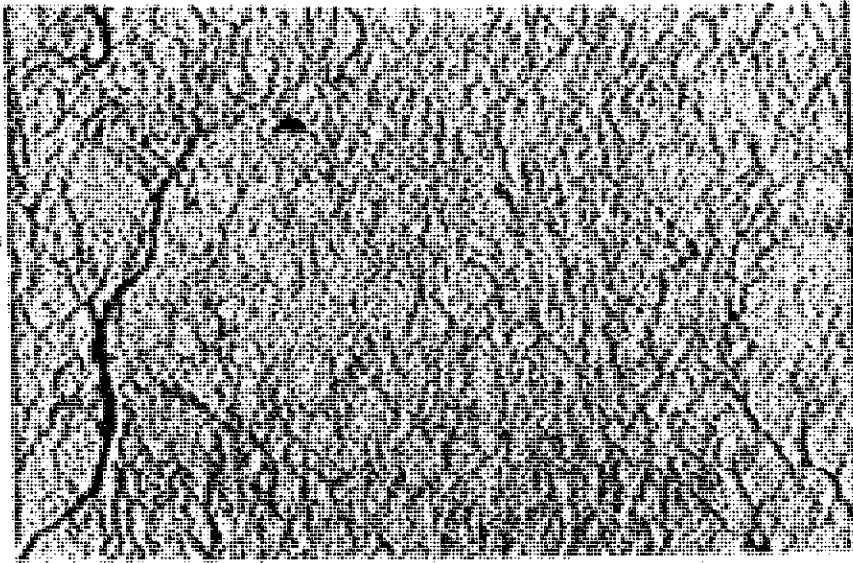


Cross Nicol

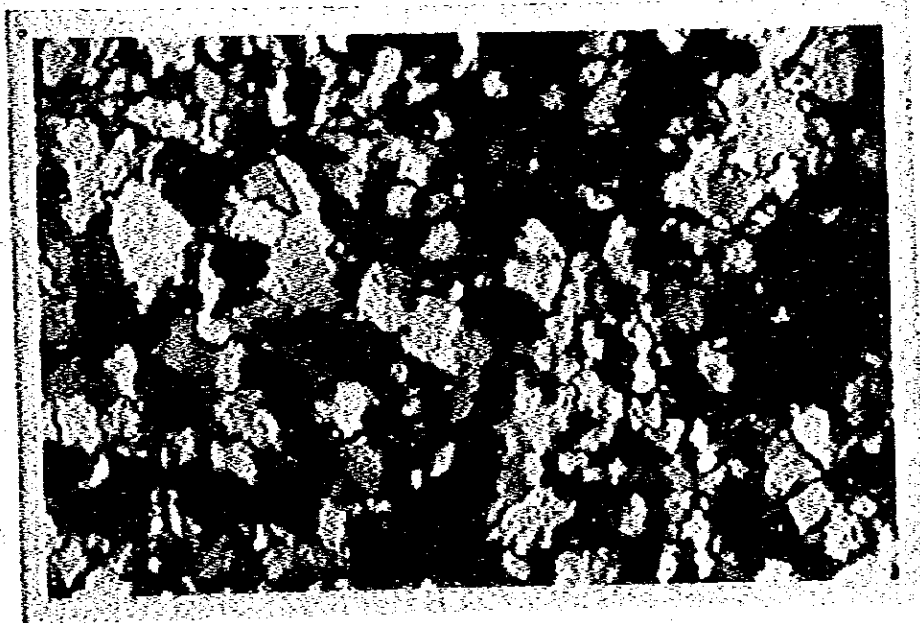
200μm

この試料では、大部分、石英、カリ長石よりなり、黒雲母が一部認められる。
各々の結晶の大きさは、400～1000μm程度である。

写真 5-9 クアング山珪岩 (試料 No. 1-1)



Open Nicol

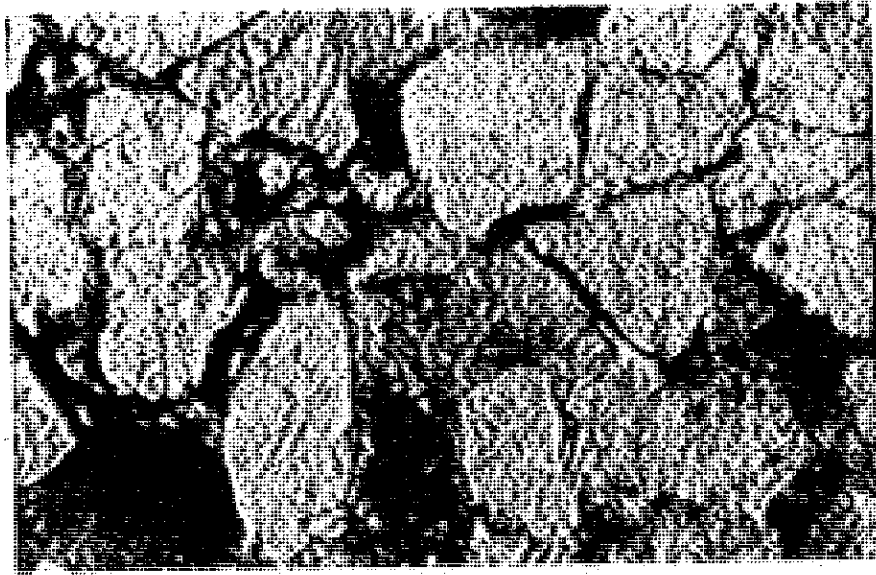


Cross Nicol

200 μ m

この試料では、大部分石英の結晶よりなり、結晶の大きさは約 30 ~ 100 μ m である。
石英結晶の間には、カルサイトの脈 (10 μ m の幅) が認められる。

写真 5-10 グラムサン砂岩 (試料 No. 23-3)



Open Nicol

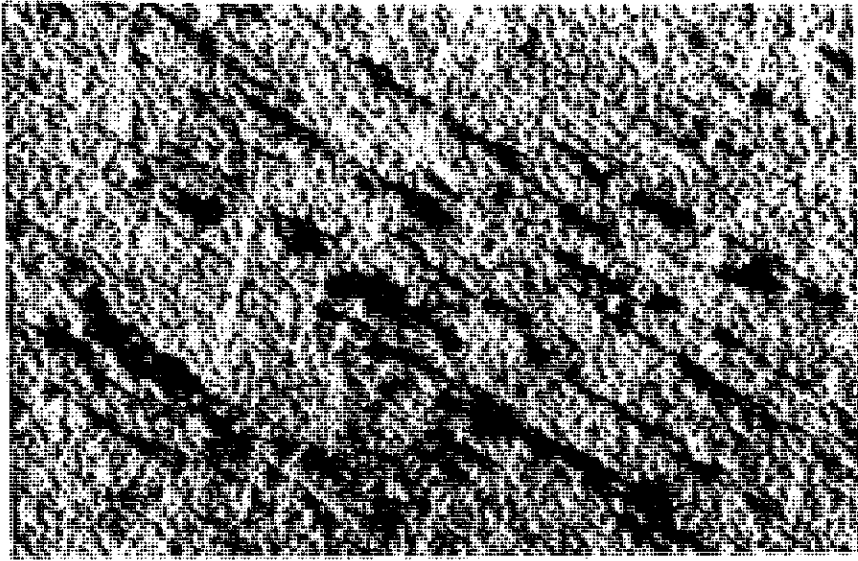


Cross Nicol

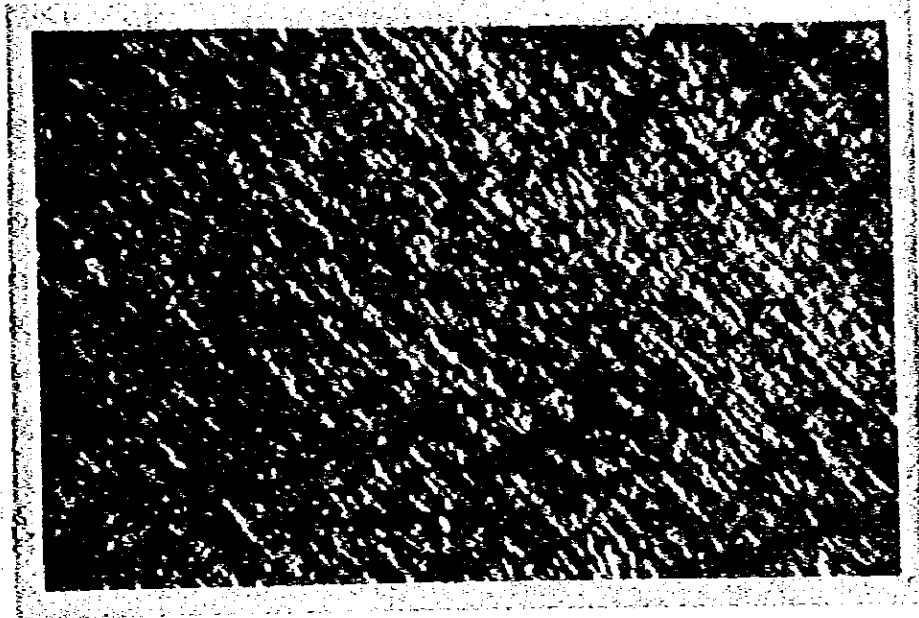
200µm

この試料では、200µm以下の石英粒子が、粘土質の基質中に観察される。また砂岩粒子は、大部分石英よりなり一部長石質のものが認められる。尚、石英粒子は全体的に角ばっている。

写真 5-11 グラムサン頁岩 (試料 No. 24-4)



Open Nicol

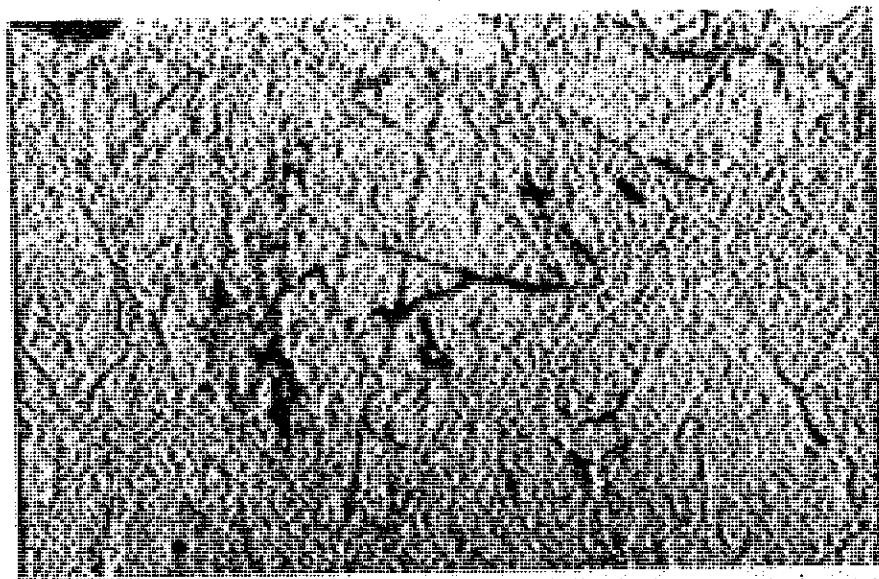


Cross Nicol

200μm

この試料では、粒子の大きさが約 $10\mu\text{m}$ 程度の石英、雲母、粘土より成り、片理の発達がよく観察される。

写真5-12 ケラントン川砂 (試料No.27-4)



Open Nicol



Cross Nicol

200μm

この試料では、大部分石英の粒子よりなり、一部長石質のものが観察される。
全般に粒子は円いものが多い。

6. 易焼成試験

OPCを製造するについて、ジェリ、タナメラ及びグアムサン原料を用いてセメント原料の易焼成試験を実施した。

尚、比較例として、日本のセメント工業で一般的に使用される原料の易焼成試験も併せて実施した。

本試験に使用した原料の調合比及びクリンカーの化学成分比（諸率）を表6-1に示す。

また本試験に使用した原料の化学成分を表6-2（マレーシア）及び表6-3（日本）に各々示す。

易焼成試験は次の方法で行なった。

- (a) 各々の原料を試験用ジョークラッシャーを用いて、5 mm以下に粗砕する。
- (b) 粗砕した原料は、(表6-1)に示す調合比で混合する。
- (c) 混合した原料（調合原料）は振動ミルを用いて88 μ mの篩残分が14 \pm 1%となる様に粉碎する。
- (d) 粉碎した調合原料に、水を20 wt%添加し、直径が約7 mmのペレットを作成する。
- (e) ペレットは、電気乾燥機中で、110 $^{\circ}$ C、24時間乾燥する。
- (f) 乾燥したペレットは、電気炉の炉心まで約15分で降下させ、炉心で20分間保持し、所定の温度で本焼成を行う。
- (g) 焼成したペレットは、電気炉より取り出し、室温まで冷却する。

尚、易焼成試験方法のフローチャートを図6-1に示す。

また原料の粉末度及び粉碎時間を表6-4に示す。

易焼成試験におけるクリンカーの化学組成及び化学成分比（諸率）を表6-5に、更に焼成したクリンカー中の遊離石灰（f-CaO）を表6-6に、焼成したクリンカーのX線回折パターンを図6-2及び図6-3に各々示す。

易焼成試験では、マレーシア及び日本原料で特に大きな差異は認められなかったが、若干日本で使用される原料の方が易焼成に劣ることが判明した。

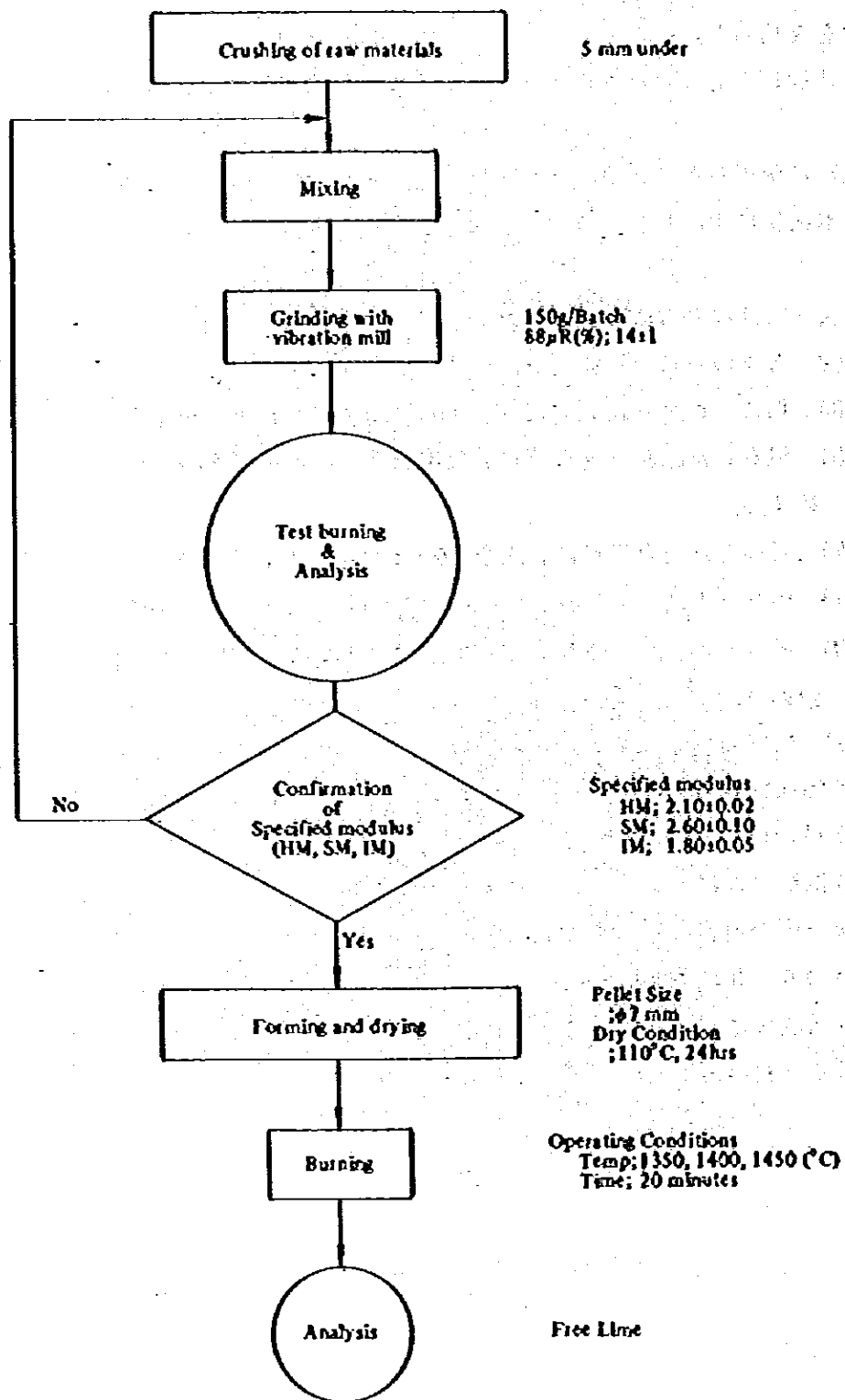


図6-1 易焼成試験フローチャート

表 6-1 原料の割合及びklinkerの比率

Combination		M-1	M-2	M-3	J-1
Lime-stone	(1) Gua C			40.793	
	(2) Masang D			40.793	
	(3) Jeli	78.457			
	(4) Dabong		80.449		
Clay	(1) Tanah West		17.578		
	(2) Merah North		1.363		
	(3) Jeli	13.244			
	(4) Gua Huang			13.083	
Silica Sand	S. Kolantan	6.664		3.605	
Iron Ore	Bt. Lata	1.635	0.610	1.726	
Japanese Limestone					77.782
Japanese Clay					16.445
Japanese Silica Stone					4.522
Japanese Copper Slag					1.251
Total		100.000	100.000	100.000	100.000
Moduli of Clinker Sample	H.M	2.10	2.10	2.10	2.10
	S.M	2.60	2.60	2.60	2.60
	I.M	1.80	1.80	1.80	1.80

Note: H. M (Hydraulic modulus)

$$= \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

S.M (Silica Modulus)

$$= \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

I.M (Iron Modulus)

$$= \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

表 6-2 易焼成試験に使用したマレーシアの原料の化学組成

Sample	Item		Chemical Composition (wt % in dry basis)										
	L.O.I.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Total			
Lime-stone	(1) Gua C	6.71	1.11	0.26	50.43	0.56	0.04	0.07	0.17	99.63			
		1.02	0.25	0.06	54.65	0.49	0.07	0.01	0.03	99.82			
	(3) Jeli	0.24	0.17	0.05	53.51	1.92	0.02	0.01	0.02	99.87			
		42.80	1.96	0.66	0.21	52.86	1.15	0.04	0.05	0.09	99.82		
Clay	(1) Tanah West	70.50	14.91	7.04	0.28	0.05	0.04	0.09	1.14	99.98			
		40.86	27.68	16.50	0.28	0.25	0.03	0.13	0.50	99.99			
	(3) Jeli	60.51	21.93	6.78	0.21	0.20	0.02	0.28	3.18	99.99			
		7.06	62.04	20.57	6.22	0.35	0.40	0.02	0.22	3.10	99.98		
Silica Sand	S. Kelantan	0.51	90.41	4.70	0.62	0.38	0.00	0.60	2.76	99.98			
Iron Ore	Bt. Lata	11.43	11.40	12.99	61.20	0.63	0.76	0.12	0.12	1.21	99.86		

表 6-3 易焼成試験に使用した日本の原料の化学組成

Sample	Item		Chemical Composition (wt % in dry basis)										
	L.O.I.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Total			
Japanese Limestone	43.68	0.47	0.11	0.06	54.65	0.30	0.01	0.01	0.01	99.30			
Japanese Clay	8.38	59.17	20.41	6.34	0.70	1.45	0.00	0.34	3.15	99.94			
Japanese Silica Stone	1.29	92.67	2.80	1.52	0.28	0.20	0.00	0.12	0.68	99.56			
Japanese Copper Slag	4.09	27.86	4.50	68.25	0.84	0.61	0.04	0.10	0.02	98.13			

表 6 - 4 原料の細度及び粉砕時間

Combination	Fineness, (wt %) (Residue on 88 μ Sieve)	Grinding Time (Sec.)
M-1	13.3	65
M-2	14.0	60
M-3	13.6	67
J-1	14.1	62

表 6 - 5 クリンカ-の化学組成及び比率

Combination	Chemical Composition (wt. % in dry basis)							Moduli of Clinker			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Total	H.M.	S.M.	L.M.	L.S.F.	
M-1	22.36	5.57	3.06	65.10	2.74	98.83	2.10	2.59	1.82	0.913	
M-2	22.72	5.60	3.10	66.32	1.21	98.95	2.11	2.61	1.81	0.916	
M-3	22.88	5.68	3.14	66.42	0.65	98.77	2.09	2.59	1.81	0.911	
J-1	22.70	5.64	3.11	66.45	0.73	98.63	2.11	2.59	1.81	0.918	

表 6 - 6 クリンカー中の遊離石灰量

Combination	Free Lime Content of Clinker (%)		
	Burning Temp. 1350°C	1400°C	1450°C
M-1	5.0	3.0	1.5
M-2	5.3	3.1	1.5
M-3	5.5	3.1	1.4
J-1	6.0	3.4	1.7

Note; The free lime content of clinker corresponds to the quantity of uncombined CaO. If the free lime content of clinker prepared and burnt under the same condition is higher than the others, the burnability of the clinker is judged to be inferior as compared with the others.

A : Alit $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
 B : Belit $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
 CA : Calcium Aluminate $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
 F : Felite $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
 CaO : Calcium Oxide

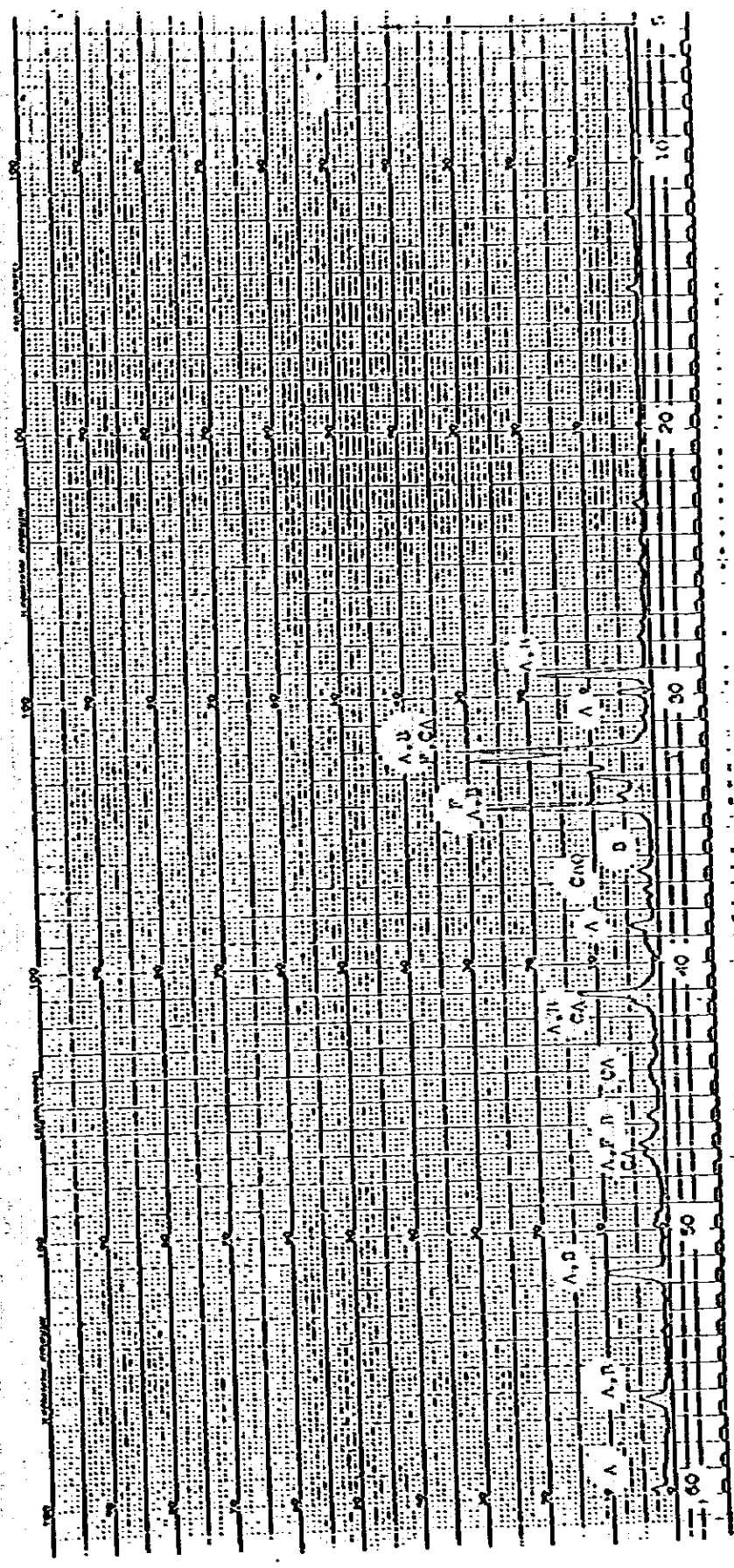


図 6-2 焼成したクリンカーの X 線回折 (J-1)

The letter means the same as Fig. 6-2

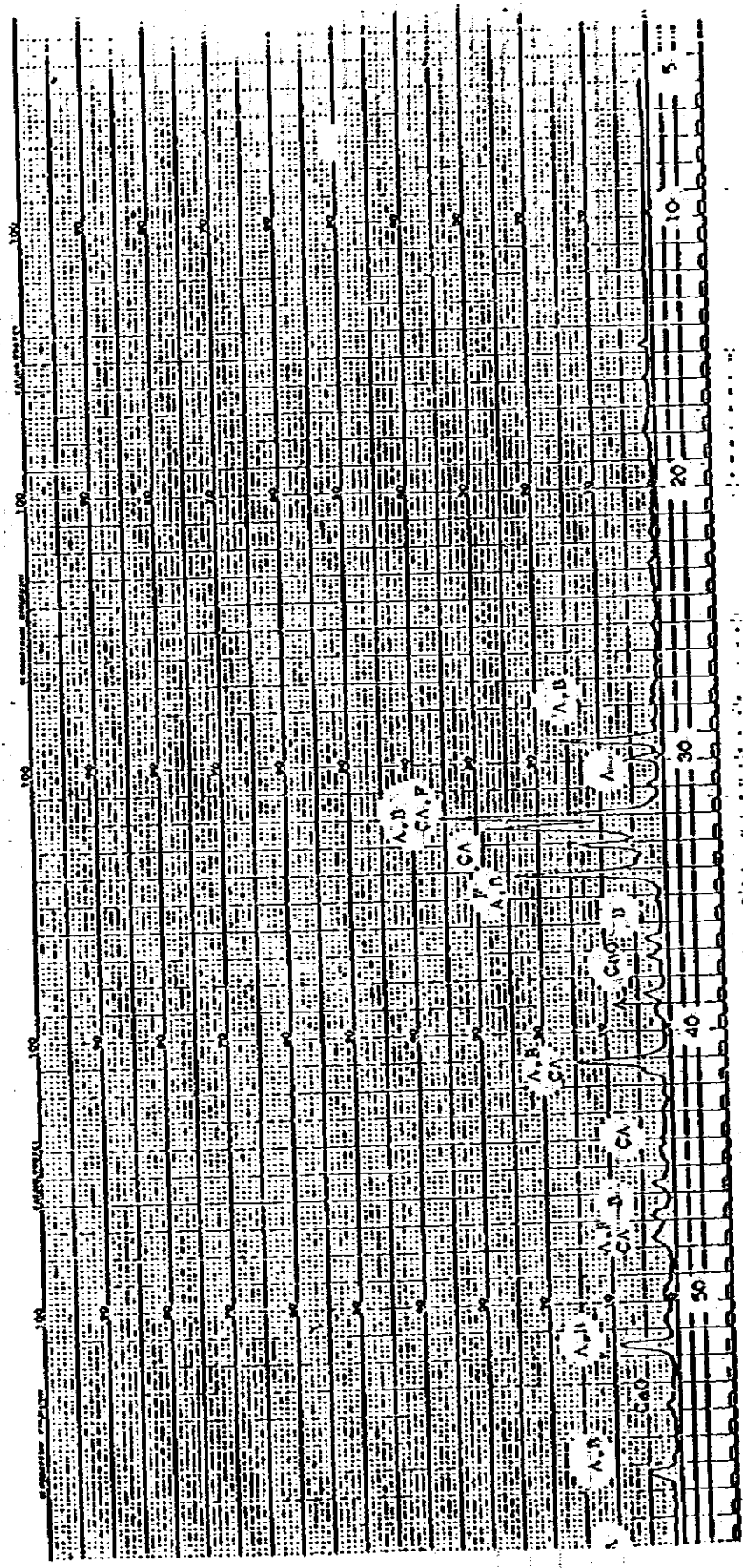


図 6-3 焼成したクランクの X 線回折 (M-3)

7. 粉砕性指数(GI)

セメント製造に使用する原料の粉砕性指数 (GI) 測定試験を ASTM D409 に準拠して行なった、粉砕性指数 (GI) 測定機 (Handgrove Grindability Machine) の外観図を図 7-1 に示す。

試料はクラッシャーで粉砕後、篩で分級 (粒度範囲: 1190 ~ 590 μm) し、測定用試料とした。

調整した試料 50 g を粉砕性指数 (GI) 測定機の容器の中に移し、軸に 64 lb の荷重を載せ、粉砕媒体とともに 60 回転し、粉砕する。

粉砕した試料を容器より取り出し、74 μm の篩成分を測定する。

粉砕性指数 (GI) は次式によって算出した。

$$GI = 13 + 6.93 (50 - W)$$

ここで、W: 74 μm の篩残分 (g)

セメント製造に使用する原料の粉砕性指数 (GI) の測定結果を表 7-2 に示す。

粉砕性指数 (GI) の測定試験では、特にマレーシア原料に顕著な特性は認められなかった。

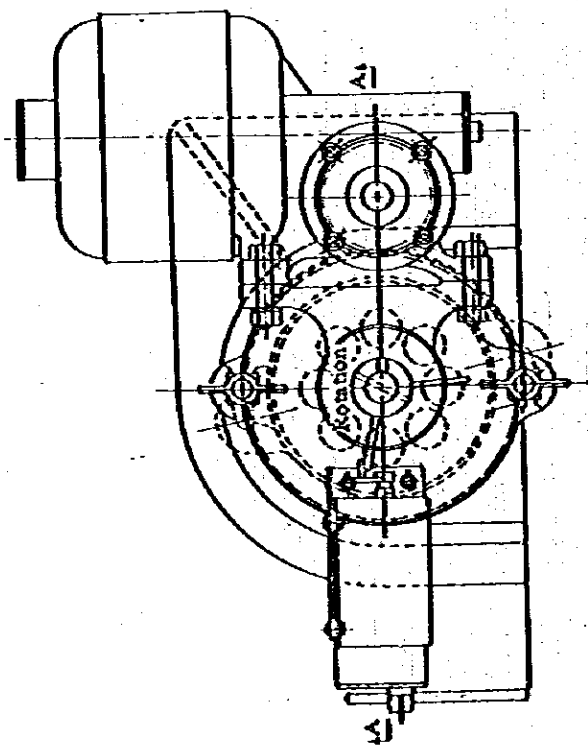
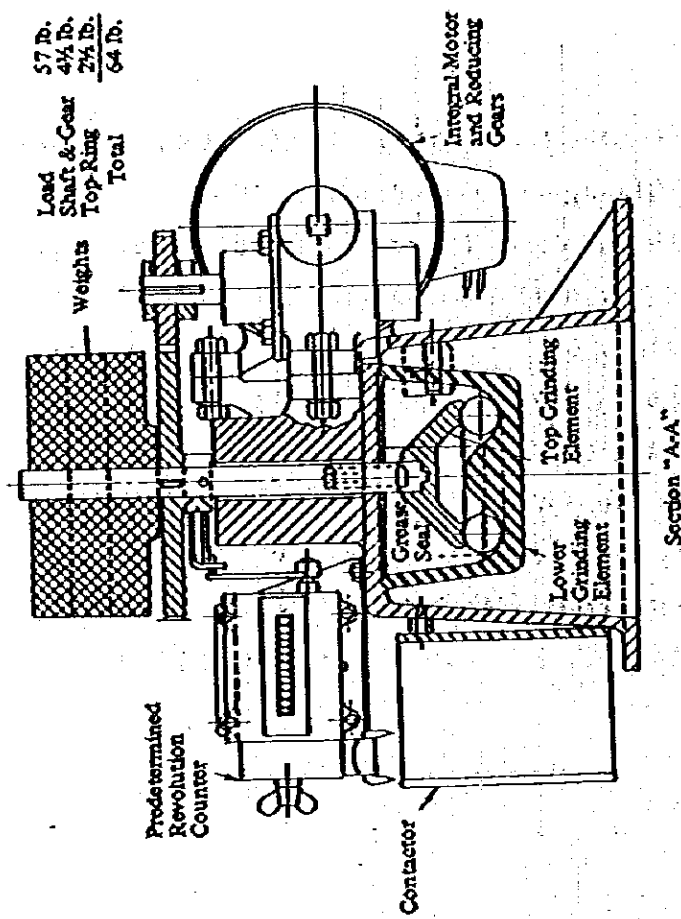


図 7-1 ハードグロブ粉砕性測定機 (ASTM D 409 に規定される)

Name	Sample		Grindability Index
	Area	No.	
Limestone	Gua Panjang		73.7
Silica Sand	S. Kelantan	27-3	43.1
Silica Rock	Gua	23-1	78.8
	Musang	23-3	45.5
Iron Ore	Tomangan	19-1	45.4
		19.3	108.5
	Bt. Lata	6-5	68.3
Reference	Limestone (Japan)		30 ~ 92
	Silica Rock (Japan)	[Hard Type]	28 ~ 50
		[Soft Type]	74 ~ 130
	Iron Ore (India)		66 ~ 118
	Clinker (Japan)		39 ~ 68

表 7-2 粉碎性試驗結果 (CI)

8. 粉砕仕事指数

今回の調査では、セメント原料の粉砕に、閉回路ミルを使用する計画のため、JIS M 4002に準拠して原料の粉砕仕事指数の測定試験を行った。

本試験に使用する原料の調合比は、焼成したクリンカーの化学成分比（諸率）が下記の値となる様設定し、計算によって求めた。

表 8-1 には、原料の調合比を示す。

HM	2.10
SM	2.60
IM	1.80
LSF	0.913

粉砕仕事指数の測定に用いたミルの諸元は下記の通りで、ミルの外観を図 8-1 に示す。

ミルの諸元	
ミルの内径	: ϕ 305 mm
ミルの長さ (内のり)	: 305 mm
回転速度	: 70 rpm

試験に用いたボールは、次の様な構成とし、ボールの総重量は 19.5 kg を下限とする。

試験用ボール	
直径 (mm)	個 数
36.5	43
30.2	67
25.4	10
19.1	71
15.9	94
合計	285

粉砕仕事指数の試験方法の概略を図8-2に示す。

試験方法は次の通りである。

試験に用いる原料は、試験用クラッシャーで粉砕し、 $3360\mu\text{m}$ 以下とする。

次にふるい分析で粉砕原料の粒度分布を求め $P_1(\mu\text{m})$ の通過分(%)及び、80%粒度 $F(\mu\text{m})$ を決定する。

本試験では、 P_1 は $88\mu\text{m}$ を用いた。

(a) 充填容積で 700ml の重量($V\text{g}$)を測定したのち、試験用ボールとともに、試験用ボールミルに入れてミルを回転する。

(b) ミルを100回転した後、試験用ボールミル中の全粉砕物を P_1 の篩でふるい分け、篩残分($A\text{g}$)を測定する。

(c) P_1 の篩通過量から試験用ボールミル1回転あたりの P_1 篩通過量($Q\text{bp}$)を計算し、次回の循環率が250%となる様に回転数を予測する。

$Q\text{bp}(\text{g})$: 1回転あたりの P_1 篩通過量

(d) P_1 の篩通過量に等しい重量の新試料を加え、篩残分 $A(\text{g})$ と混合してミルに再び入れる。

(e) (c)で予測した回数だけ、試験用ボールミルを回転する。

(f) (c)~(e)の操作の操作をくり返し、循環率が約250%で安定する様にする。安定した最後の3回の $Q\text{bp}$ の平均値($\overline{Q\text{bp}}$)を求める。

(g) (f)で得られた最後の3回の篩通過物の粒度分布を求め、80%粒度(F)を求める。

粉砕仕事指数は次式によって算出した。

$$WI(\text{粉砕仕事指数}) = \frac{44.5}{P_1^{0.23} \times \overline{Q\text{bp}}^{0.82} \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)} \times 1.10$$

粉砕仕事数の測定試験結果を表8-2に示す。

今回の試験では、マレーシア及び日本原料の間にて顕著な差異は認められず、日本のセメント工業で使用されるものとほぼ同程度であった。

表 8 - 1 粉砕仕事指数試験に用いた原料の割合

Sample of Raw Materials		Mixing Proportion (%)
Limestone	Dabong	80.449
Clay	Tanah Merah (West)	17.578
	Tanah Merah (North)	1.363
Iron Ore	Bt. Lata	0.610
Total		100.000

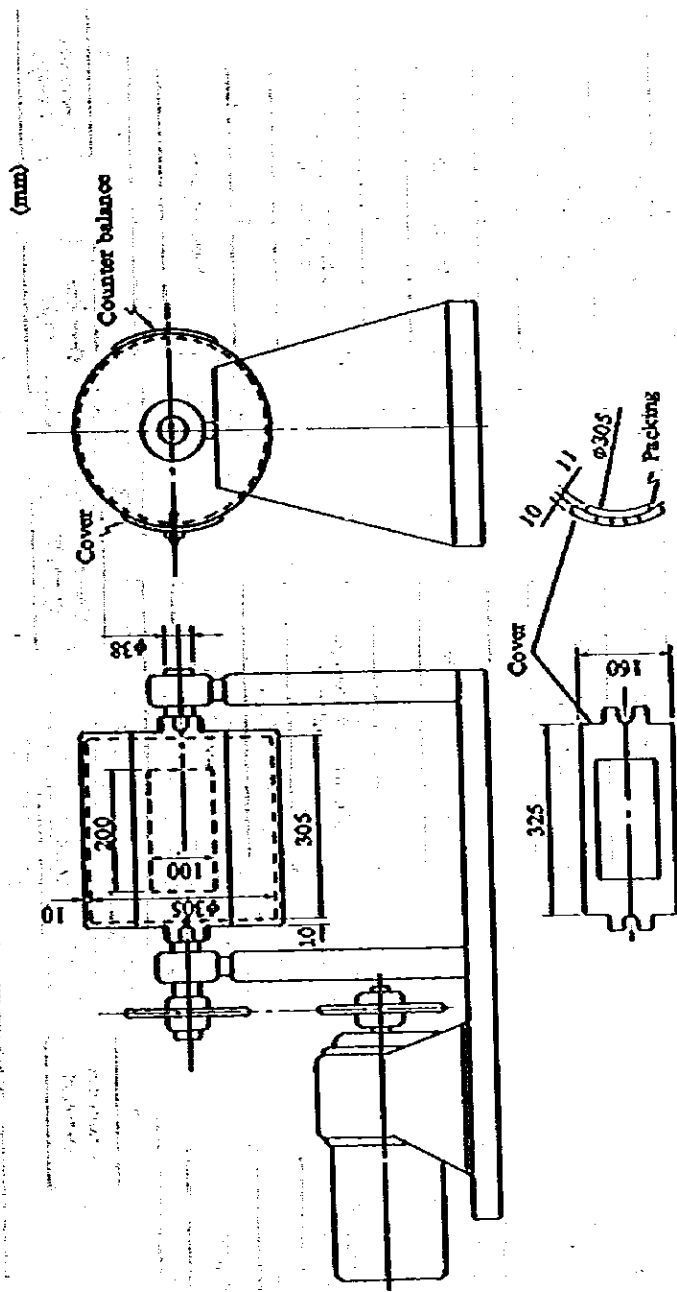


図 8 - 1 粉砕仕事用試験ミルの外観図

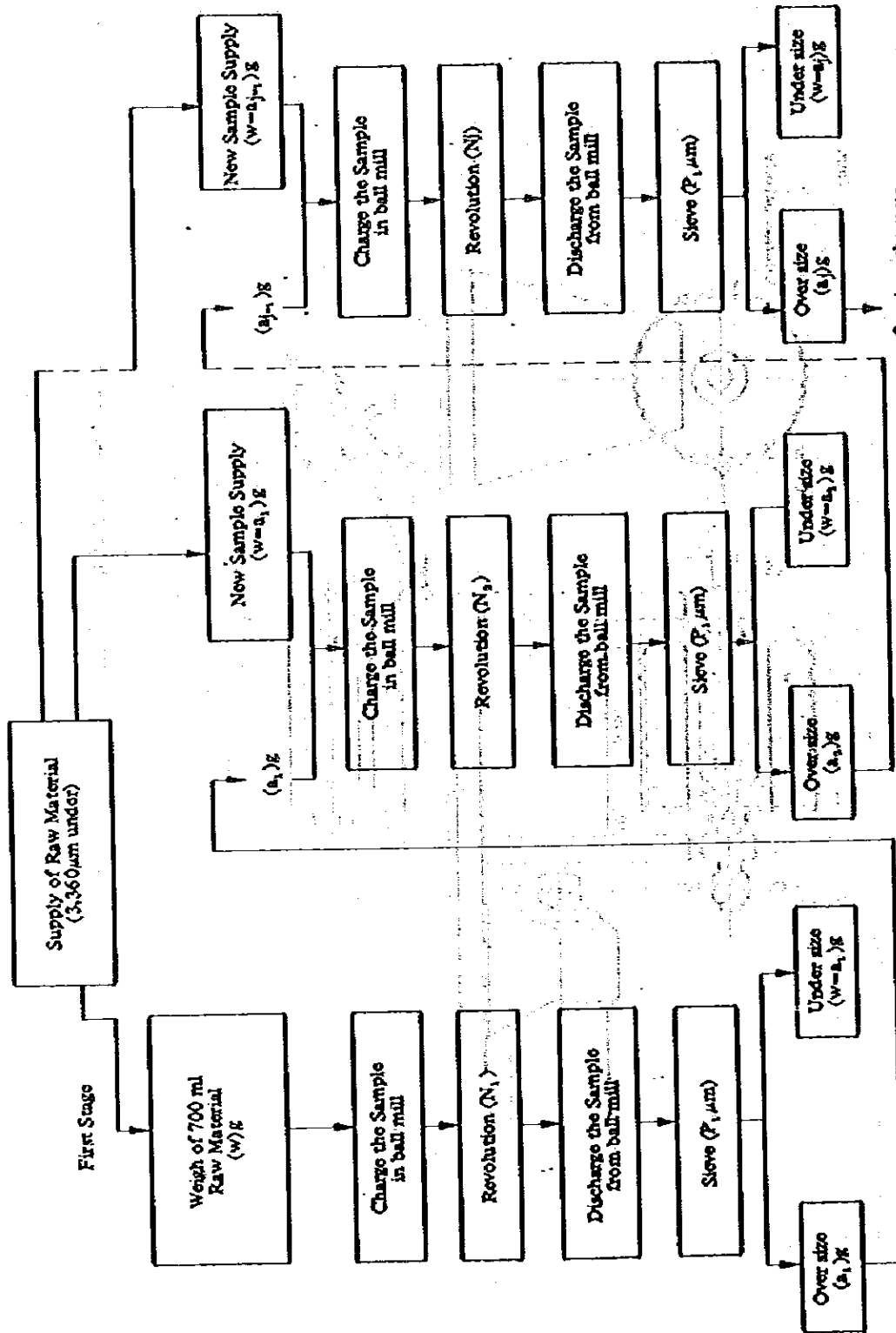
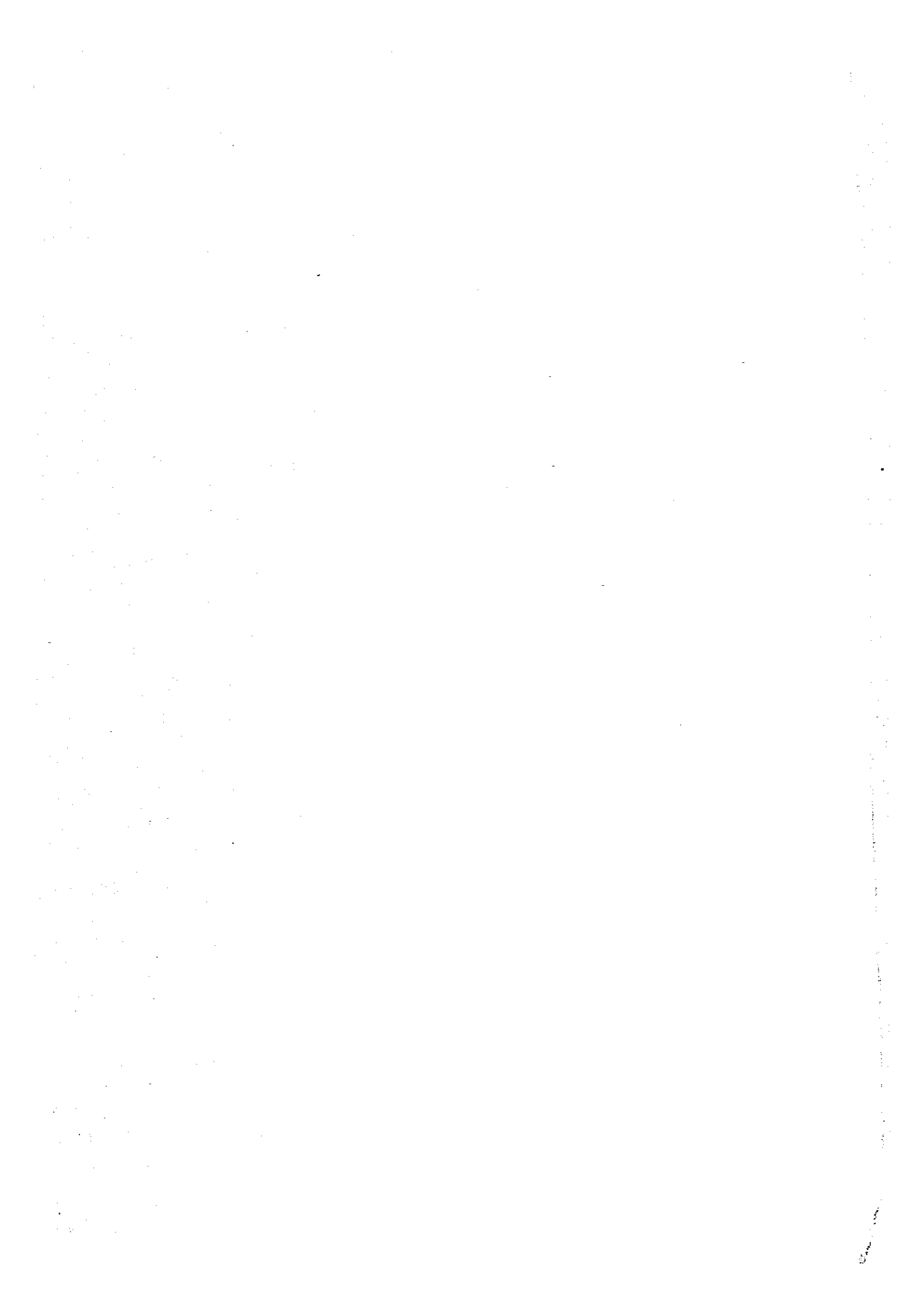


图 8-2 粉 碎 球 磨 机 操 作 流 程 图

表8-2 マレーシア及び日本の原料の粉砕仕事指数

Raw Materials	WI (kWh/t)
Malaysian Raw Material	10.5
Japanese Raw Material (UBE)	11.3
Japanese Raw Material (A)*	12.5
Japanese Raw Material (B)*	9.3 ~ 9.8
Japanese Raw Material (C)*	10.2
Japanese Raw Material (D)*	12.9
Japanese Raw Material (E)*	9.4 ~ 11.2

* Typical Test Results of Japanese Cement Industries.



JICA