

付録A. 裏込石の簡易形状計測および統計処理による選定

A.1 裏込石の簡易形状計測

(1) 計測方法

計測方法は以下の手順で行う。

- ①裏込石の最も鋭利な部分を頂点とした円錐或いは角錐を想定する。
- ②想定した円錐（角錐）底面の最小径 D_{min} および最大径 D_{max} をノギスにより測定する。
- ③それぞれの径と頂点を含む平面で裏込石を切断したと仮定したときの頂点部分の角度（以後先端角度と呼ぶ；図-A.1） $\alpha_{D_{min}1}$ および $\alpha_{D_{max}1}$ を定規付分度器により測定する。
- ④円錐（角錐）の底面から頂点までの高さ H を測定する。
- ⑤頂点角度を次のように算定する。図-A.2のように底面の径 D_{min} あるいは D_{max} と頂点とで形成する三角形を想定し、その頂点部分の角度（以後頂点角度と呼ぶ）を次式により算定する。

$$\alpha_{D_{min}2} = 2 \tan^{-1} \{ (D_{min}/2) / H \} \tag{A1}$$

$$\alpha_{D_{max}2} = 2 \tan^{-1} \{ (D_{max}/2) / H \} \tag{A2}$$

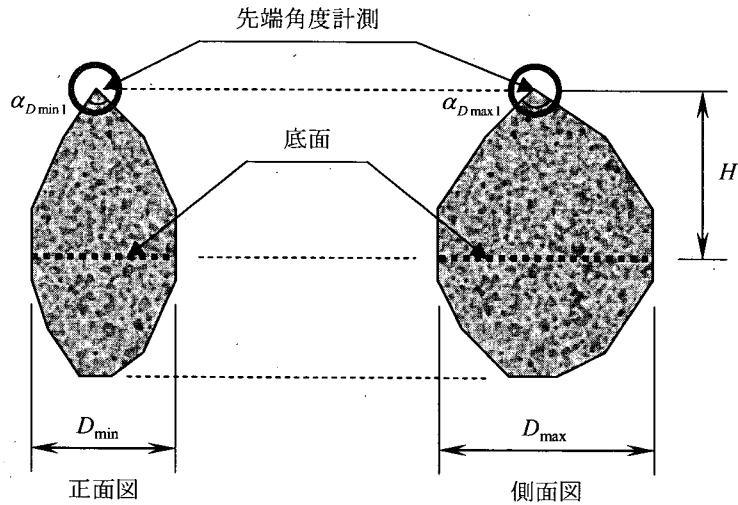


図-A.1 裏込石計測方法

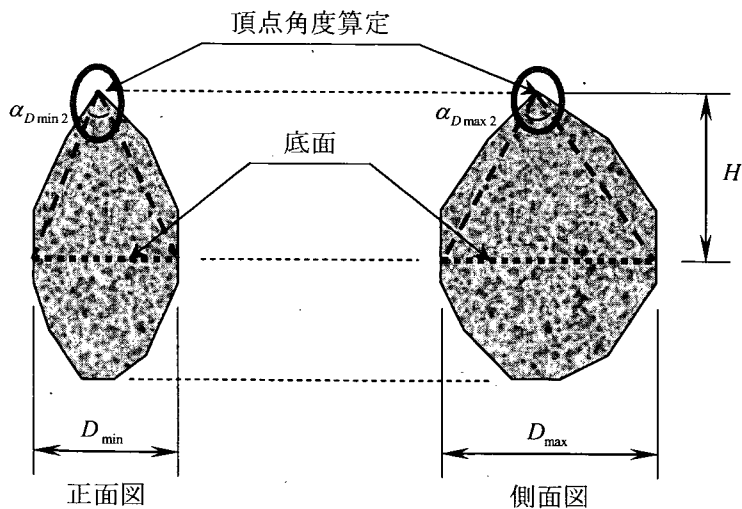


図-A.2 頂点角度測定方法

(2) 計測結果

裏込石の簡易形状計測結果を表-A.1に示す。また裏込石の頂点角度算定結果を表-A.2に示す。

表-A.1 裏込石簡易形状計測結果

No.	高さ H (mm)	底面最小径 D_{\min} (mm)	底面最小径の 時の先端角度 $\alpha_{D_{\min}}$ (度)	底面最大径 D_{\max} (mm)	底面最小径の 時の先端角度 $\alpha_{D_{\max}}$ (度)	突起先端形状
1	69.2	74.6	150	109.6	117	三角錐
2	101.4	87.5	135	134.0	138	三角錐
3	120.8	57.0	104	91.8	82	四角錐
4	62.7	95.7	160	114.9	156	四角錐
5	88.1	71.8	142	73.5	107	三角錐
6	72.4	87.5	114	94.7	87	三角錐
7	89.0	55.8	84	108.5	151	四角錐
8	73.4	91.7	154	124.7	130	三角錐
9	105.9	75.1	131	110.6	138	三角錐
10	94.5	46.7	86	70.1	104	四角錐
11	83.9	53.2	82	66.7	98	三角錐
12	68.8	54.0	112	86.0	123	四角錐
13	85.3	50.3	130	99.1	105	三角錐
14	78.0	94.5	82	118.6	143	三角錐
15	100.5	98.1	126	125.1	130	三角錐
16	93.8	64.5	126	92.8	127	四角錐
17	118.4	83.7	100	82.1	143	三角錐
18	107.7	59.1	77	62.2	135	三角錐
19	86.5	93.0	139	112.1	150	三角錐
角 20	94.7	53.7	139	97.3	81	三角錐, 角形
21	91.8	49.5	157	88.5	110	三角錐
22	109.0	51.4	143	121.3	125	四角錐
23	79.9	79.7	140	94.1	122	三角錐
24	79.9	44.5	129	126.5	126	三角錐
角 25	102.2	43.3	142	89.0	82	三角錐, 角形
丸 26	81.5	56.8	140	86.5	142	四角錐, 丸形
丸 27	80.3	76.3	145	96.1	150	四角錐, 丸形
28	69.6	93.2	139	94.2	127	三角錐
29	79.5	81.7	103	97.8	154	三角錐
30	73.7	46.7	104	77.1	151	三角錐
31	96.6	67.3	125	97.9	123	三角錐
32	73.1	83.1	129	88.6	99	三角錐
33	72.6	60.3	91	83.5	124	三角錐

注) 表中の「角」印は角形の石として実験に使用した石であり、「丸」印は丸形の石として実験に使用した石である。

表-A.2 頂点角度算定結果

No.	高さ H (mm)	底面最小径 D_{\min} (mm)	底面最小径の 時の先端角度 $\alpha_{D_{\min}}$ (度)	底面最大径 D_{\max} (mm)	底面最小径の 時の先端角度 $\alpha_{D_{\max}}$ (度)	突起先端形状
1	69.2	74.6	57	109.6	77	三角錐
2	101.4	87.5	47	134.0	67	三角錐
3	120.8	57.0	27	91.8	42	四角錐
4	62.7	95.7	75	114.9	85	四角錐
5	88.1	71.8	44	73.5	45	三角錐
6	72.4	87.5	62	94.7	66	三角錐
7	89.0	55.8	35	108.5	63	四角錐
8	73.4	91.7	64	124.7	81	三角錐
9	105.9	75.1	39	110.6	55	三角錐
10	94.5	46.7	28	70.1	41	四角錐
11	83.9	53.2	35	66.7	43	三角錐
12	68.8	54.0	43	86.0	64	四角錐
13	85.3	50.3	33	99.1	60	三角錐
14	78.0	94.5	62	118.6	74	三角錐
15	100.5	98.1	52	125.1	64	三角錐
16	93.8	64.5	38	92.8	53	四角錐
17	118.4	83.7	39	82.1	38	三角錐
18	107.7	59.1	31	62.2	32	三角錐
19	86.5	93.0	57	112.1	66	三角錐
角 20	94.7	53.7	32	97.3	54	三角錐, 角形
21	91.8	49.5	30	88.5	51	三角錐
22	109.0	51.4	27	121.3	58	四角錐
23	79.9	79.7	53	94.1	61	三角錐
24	79.9	44.5	31	126.5	77	三角錐
角 25	102.2	43.3	24	89.0	47	三角錐, 角形
丸 26	81.5	56.8	38	86.5	56	四角錐, 丸形
丸 27	80.3	76.3	51	96.1	62	四角錐, 丸形
28	69.6	93.2	68	94.2	68	三角錐
29	79.5	81.7	54	97.8	63	三角錐
30	73.7	46.7	35	77.1	55	三角錐
31	96.6	67.3	38	97.9	54	三角錐
32	73.1	83.1	59	88.6	62	三角錐
33	72.6	60.3	45	83.5	60	三角錐

注) 表中の「角」印は角形の石として実験に使用した石であり、「丸」印は丸形の石として実験に使用した石である。

A.2 裏込石簡易形状計測結果の統計処理

(1) 統計処理方法

統計処理手順を以下に示す。

- ①裏込石の先端角度および頂点角度の度数分布が図-A.3のような正規分布に従うと仮定する。
- ②裏込石の先端角度および頂点角度それぞれについて平均 m および標準偏差 σ を算定する。
- ③各裏込石の先端角度および頂点角度が $m-\sigma$ より小さければ角形の石とし、 $m+\sigma$ より大きければ丸形の石とする。

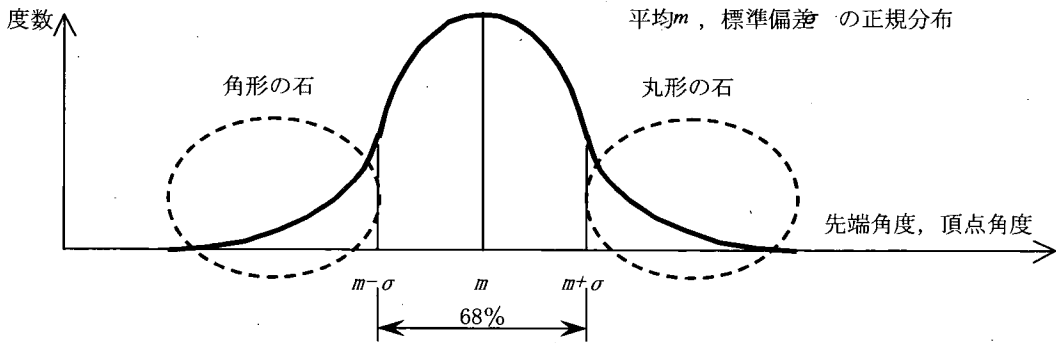


図-A.3 裏込石の先端角度および頂点角度の統計処理

表-A.3 裏込石計測結果統計処理

No.	高さ H mm	底面の径が最小となる断面			底面の径が最大となる断面			先端角度統計処理				頂点角度統計処理			
		最小径 Dmin mm	先端角度 $\alpha_{Dmin,1}$ 度	頂点角度 $\alpha_{Dmin,2}$ 度	最大径 Dmax mm	先端角度 $\alpha_{Dmax,1}$ 度	頂点角度 $\alpha_{Dmax,2}$ 度	最小先端 角度 度	$(x_n - \bar{x})^2$	標準偏差 σ	判定	最小頂 点角度 度	$(x_n - \bar{x})^2$	標準偏差 σ	判定
1	69.2	74.6	150	57	109.6	117	77	117	38	22	68%以内	57	161	13	68%以内
2	101.4	87.5	135	47	134.0	138	67	135	608		丸形	47	7		68%以内
3	120.8	57.0	104	27	91.8	82	42	82	809	$m-\sigma$	角形	27	304	$m-\sigma$	角形
4	62.7	95.7	160	75	114.9	156	85	156	2111	88	丸形	75	944	31	丸形
5	88.1	71.8	142	44	73.5	107	45	107	11		68%以内	44	0		68%以内
6	72.4	87.5	114	62	94.7	87	66	87	564	$m+\sigma$	角形	62	335	$m+\sigma$	丸形
7	89.0	55.8	84	35	108.5	151	63	84	694	132	角形	35	85	57	68%以内
8	73.4	91.7	154	64	124.7	130	81	130	390		68%以内	64	400		丸形
9	105.9	75.1	131	39	110.6	138	55	131	435		68%以内	39	24		68%以内
10	94.5	46.7	86	28	70.1	104	41	86	593		角形	28	263		角形
11	83.9	53.2	82	35	66.7	98	43	82	804		角形	35	77		68%以内
12	68.8	54.0	112	43	86.0	123	64	112	3		68%以内	43	1		68%以内
13	85.3	50.3	130	33	99.1	105	60	105	29		68%以内	33	123		68%以内
14	78.0	94.5	82	62	118.6	143	74	82	804		角形	62	341		丸形
15	100.5	98.1	126	52	125.1	130	64	126	245		68%以内	52	65		68%以内
16	93.8	64.5	126	38	92.8	127	53	126	245		68%以内	38	37		68%以内
17	118.4	83.7	100	39	82.1	143	38	100	107		68%以内	38	33		68%以内
18	107.7	59.1	77	31	62.2	135	32	77	1112		角形	31	176		68%以内
19	86.5	93.0	139	57	112.1	150	66	139	821		丸形	57	157		68%以内
20	94.7	53.7	139	32	97.3	81	54	81	862		角形	32	152		68%以内
21	91.8	49.5	157	30	88.5	110	51	110	0		68%以内	30	190		角形
22	109.0	51.4	143	27	121.3	125	58	125	215		68%以内	27	304		角形
23	79.9	79.7	140	53	94.1	122	61	122	136		68%以内	53	82		68%以内
24	79.9	44.5	129	31	126.5	126	77	126	245		68%以内	31	165		68%以内
25	102.2	43.3	142	24	89.0	82	47	82	804		角形	24	402		角形
26	81.5	58.8	140	38	86.5	142	56	140	879		丸形	38	31		68%以内
27	80.3	76.3	145	51	96.1	150	62	145	1201		丸形	51	47		68%以内
28	69.6	93.2	139	68	94.2	127	68	127	277		68%以内	68	559		丸形
29	79.5	81.7	103	54	97.8	154	63	103	54		68%以内	54	109		68%以内
30	73.7	46.7	104	35	77.1	151	55	104	40		68%以内	35	78		68%以内
31	96.6	67.3	125	38	97.9	123	54	123	160		68%以内	38	31		68%以内
32	73.1	83.1	129	59	88.6	99	62	99	129		68%以内	59	234		丸形
33	72.6	60.3	91	45	83.5	124	60	91	374		68%以内	45	1		68%以内
								110	15797			44	5917		
								平均 m	合計 Σ			平均 m	合計 Σ		

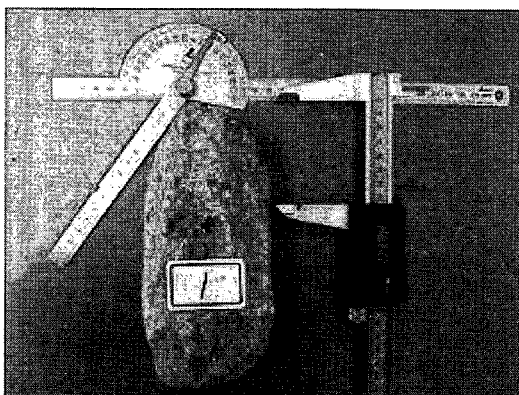
(2) 統計処理結果

統計処理結果を表-A.3 に示す。表-A.3 では、先端角度および頂点角度についてそれぞれ角形あるいは丸形の判定を行っている。角形あるいは丸形と判定された石の中から比較的正多角錐あるいは円錐に近いものを選定し実験に使用する裏込石とした。選定した石について表-A.4 に示す。

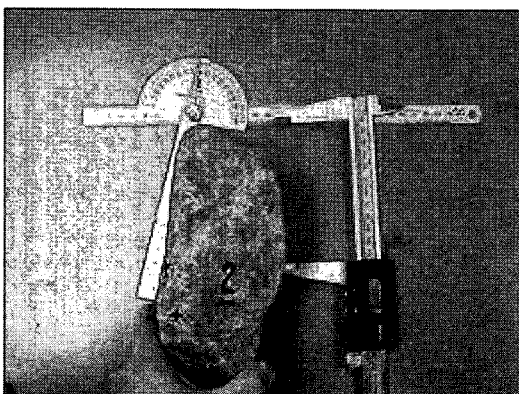
表-A.4 実験に使用する裏込石

No.	高さ H mm	底面の径が最小となる断面			底面の径が最大となる断面			実験時の名称
		最小径 D_{min} mm	先端角度 α_{Dmin1} 度	頂点角度 α_{Dmin2} 度	最小径 D_{max} mm	先端角度 α_{Dmax1} 度	頂点角度 α_{Dmax2} 度	
		20	94.7	53.7	139	32	97.3	
25	102.2	43.3	142	24	89.0	82	47	角形①
26	81.5	56.8	140	38	86.5	142	56	丸形②
27	80.3	76.3	145	51	96.1	150	62	丸形①

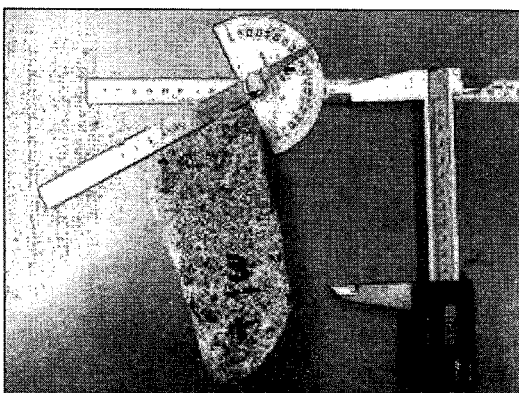
A.3 計測写真



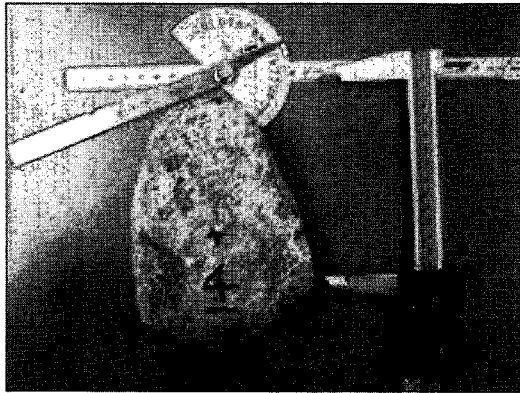
No. 1
 H (mm) : 69.16
 D_{min} (mm) : 74.60
 α_{Dmin} (度) : 150
 D_{max} (mm) : 109.56
 α_{Dmax} (度) : 117
 頂点形状 : 三角錐



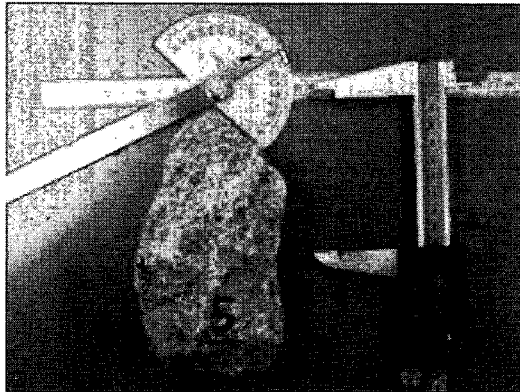
No. 2
 H (mm) : 101.37
 D_{min} (mm) : 87.45
 α_{Dmin} (度) : 135
 D_{max} (mm) : 134.02
 α_{Dmax} (度) : 138
 頂点形状 : 三角錐



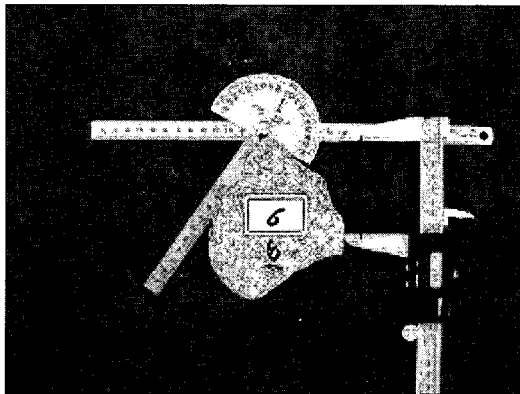
No. 3
 H (mm) : 120.79
 D_{min} (mm) : 56.97
 α_{Dmin} (度) : 104
 D_{max} (mm) : 91.84
 α_{Dmax} (度) : 82
 頂点形状 : 四角錐



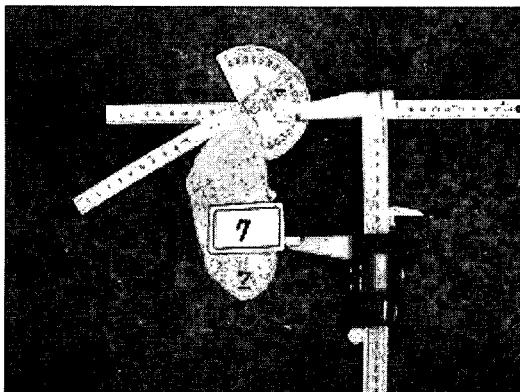
No. 4
 H (mm) : 62.67
 D_{\min} (mm) : 95.65
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 160
 D_{\max} (mm) : 114.94
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 156
 頂点形状 : 四角錐



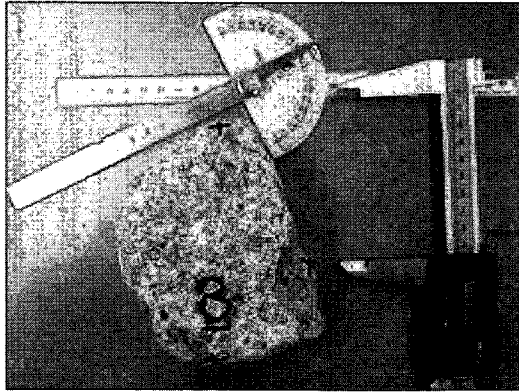
No. 5
 H (mm) : 88.11
 D_{\min} (mm) : 71.75
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 142
 D_{\max} (mm) : 73.54
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 107
 頂点形状 : 三角錐



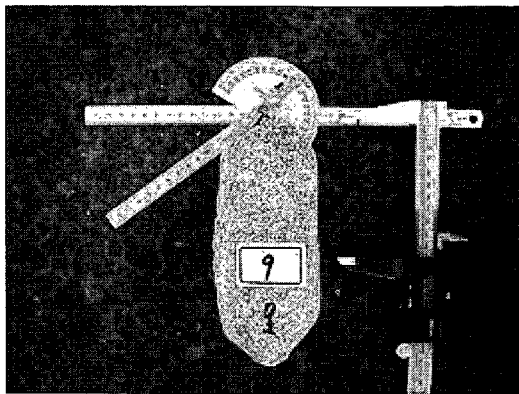
No. 6
 H (mm) : 72.43
 D_{\min} (mm) : 87.53
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 114
 D_{\max} (mm) : 94.66
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 87
 頂点形状 : 三角錐



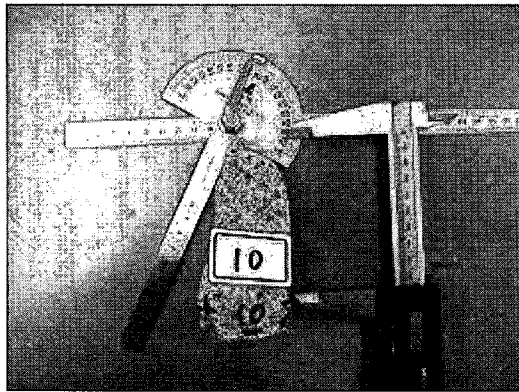
No. 7
 H (mm) : 89.03
 D_{\min} (mm) : 55.76
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 84
 D_{\max} (mm) : 108.48
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 151
 頂点形状 : 四角錐



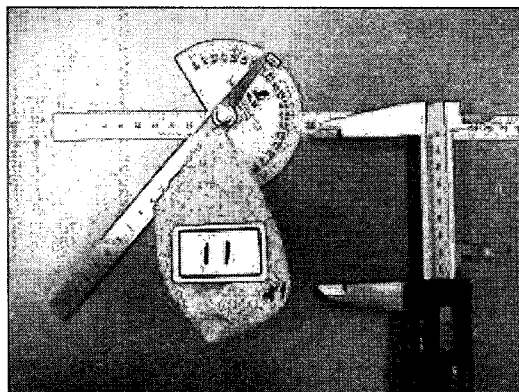
No. 8
 H (mm) : 73.40
 D_{\min} (mm) : 91.67
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 154
 D_{\max} (mm) : 124.69
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 130
 頂点形状 : 三角錐



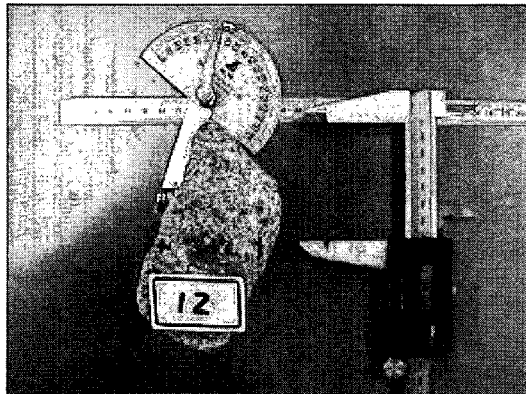
No. 9
 H (mm) : 105.89
 D_{\min} (mm) : 75.05
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 131
 D_{\max} (mm) : 110.64
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 138
 頂点形状 : 三角錐



No. 10
 H (mm) : 94.54
 D_{\min} (mm) : 46.72
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 86
 D_{\max} (mm) : 70.14
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 104
 頂点形状 : 四角錐



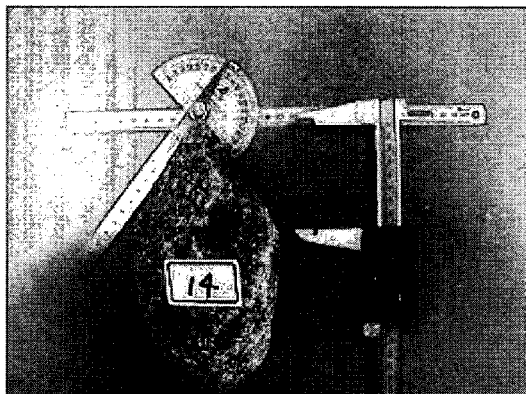
No. 11
 H (mm) : 83.87
 D_{\min} (mm) : 53.23
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 82
 D_{\max} (mm) : 66.74
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 98
 頂点形状 : 三角錐



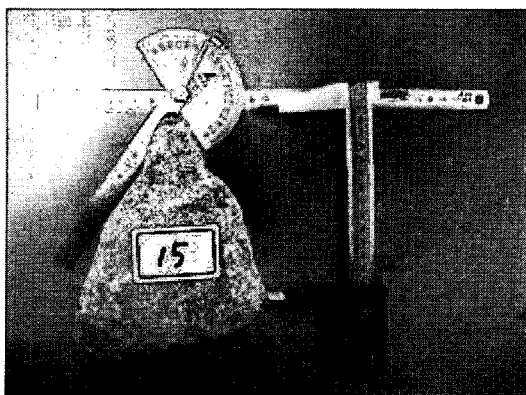
No. 12
 H (mm) : 68.76
 D_{min} (mm) : 53.98
 $\alpha_{D_{min}}$ (度) : 112
 D_{max} (mm) : 86.03
 $\alpha_{D_{max}}$ (度) : 123
 頂点形状 : 四角錐



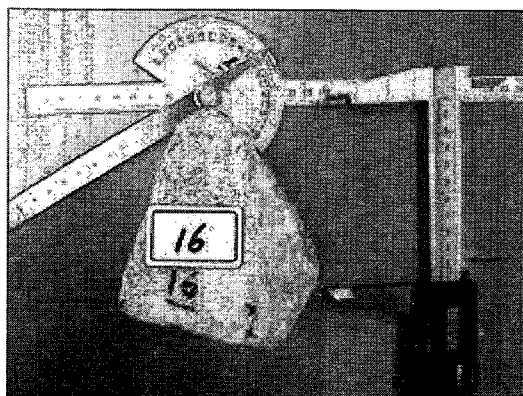
No. 13
 H (mm) : 85.27
 D_{min} (mm) : 50.34
 $\alpha_{D_{min}}$ (度) : 130
 D_{max} (mm) : 99.06
 $\alpha_{D_{max}}$ (度) : 105
 頂点形状 : 三角錐



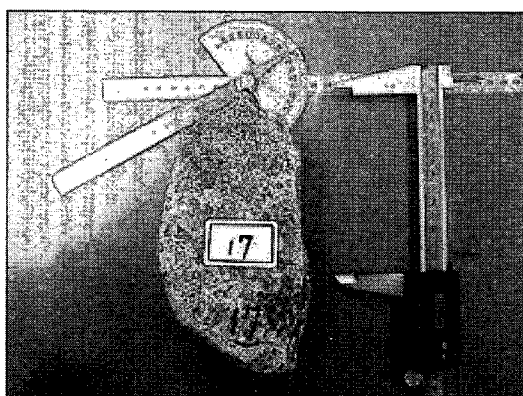
No. 14
 H (mm) : 77.98
 D_{min} (mm) : 94.52
 $\alpha_{D_{min}}$ (度) : 82
 D_{max} (mm) : 118.58
 $\alpha_{D_{max}}$ (度) : 143
 頂点形状 : 三角錐



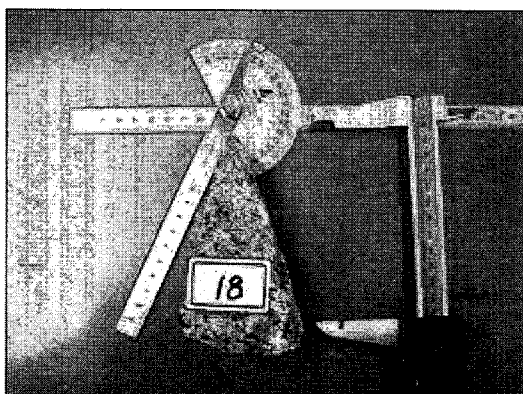
No. 15
 H (mm) : 100.52
 D_{min} (mm) : 98.08
 $\alpha_{D_{min}}$ (度) : 126
 D_{max} (mm) : 125.10
 $\alpha_{D_{max}}$ (度) : 130
 頂点形状 : 三角錐



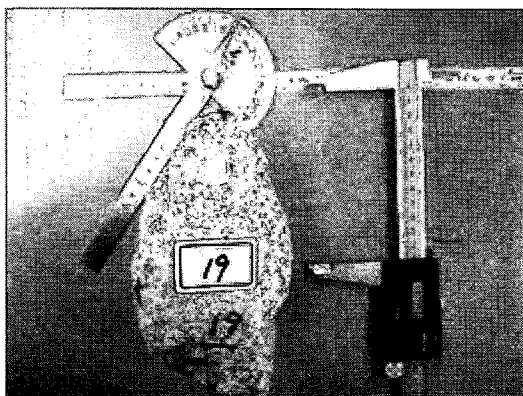
No. 16
 H (mm) : 93.8
 D_{\min} (mm) : 64.46
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 126
 D_{\max} (mm) : 92.75
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 127
 頂点形状 : 四角錐



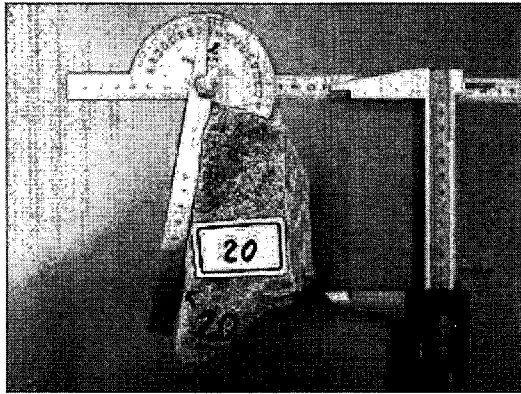
No. 17
 H (mm) : 118.36
 D_{\min} (mm) : 83.66
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 100
 D_{\max} (mm) : 82.13
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 143
 頂点形状 : 三角錐



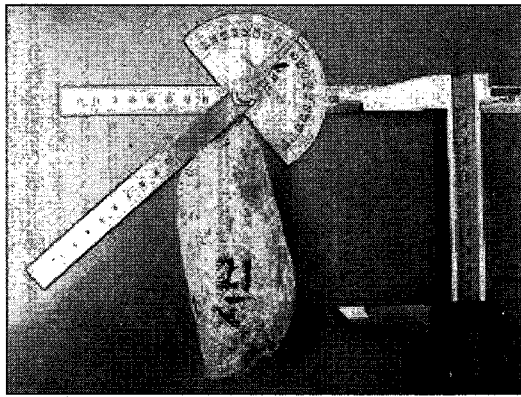
No. 18
 H (mm) : 107.66
 D_{\min} (mm) : 59.09
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 77
 D_{\max} (mm) : 62.24
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 135
 頂点形状 : 三角錐



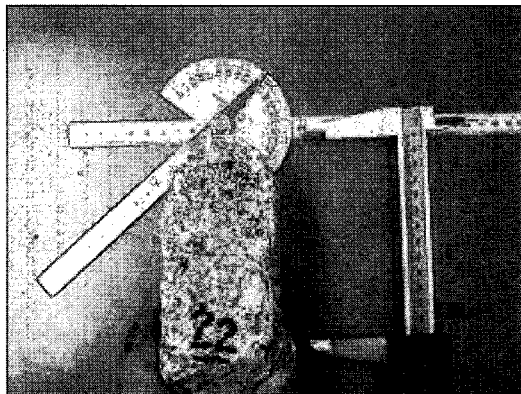
No. 19
 H (mm) : 86.51
 D_{\min} (mm) : 93.00
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 139
 D_{\max} (mm) : 112.05
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 150
 頂点形状 : 三角錐



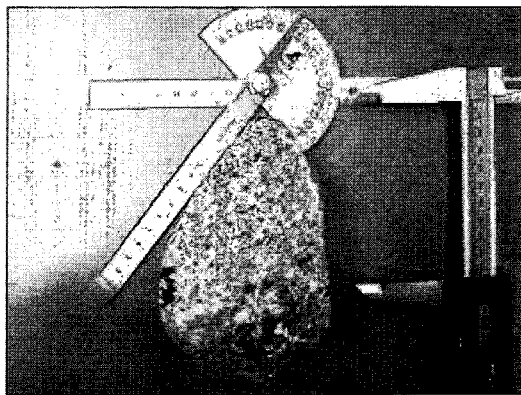
No. 20
 H (mm) : 94.71
 D_{\min} (mm) : 53.67
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 139
 D_{\max} (mm) : 97.32
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 81
 頂点形状 : 三角錐



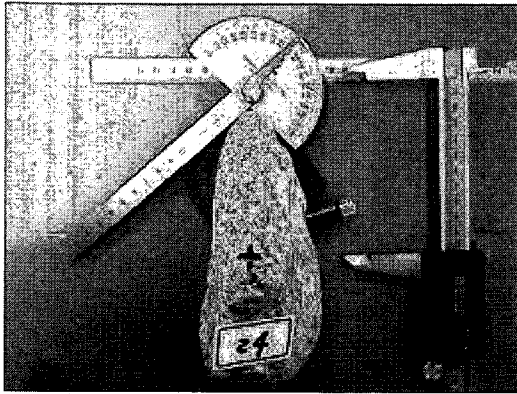
No. 21
 H (mm) : 91.84
 D_{\min} (mm) : 49.53
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 157
 D_{\max} (mm) : 88.48
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 110
 頂点形状 : 三角錐



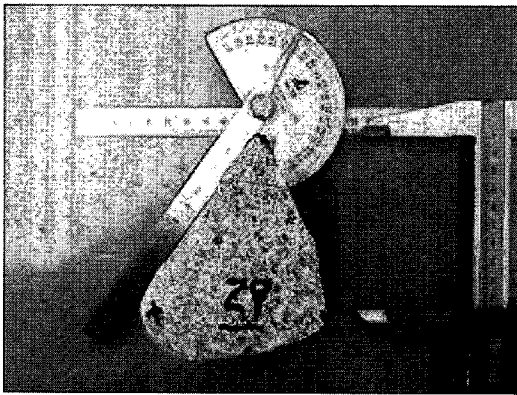
No. 22
 H (mm) : 109.04
 D_{\min} (mm) : 51.43
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 143
 D_{\max} (mm) : 121.32
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 125
 頂点形状 : 四角錐



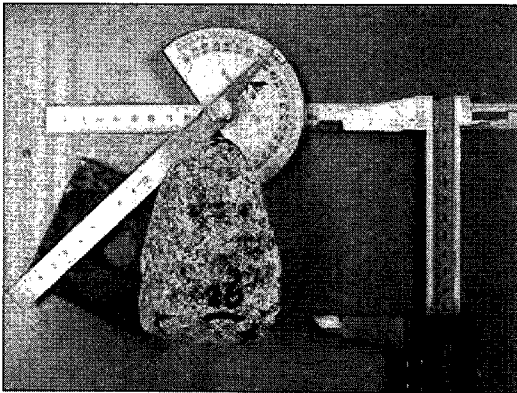
No. 23
 H (mm) : 79.89
 D_{\min} (mm) : 79.71
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 140
 D_{\max} (mm) : 94.13
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 122
 頂点形状 : 三角錐



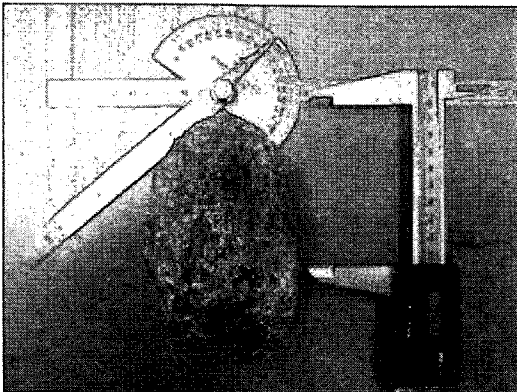
No. 24
 H (mm) : 79.90
 D_{\min} (mm) : 44.49
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 129
 D_{\max} (mm) : 126.47
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 126
 頂点形状 : 三角錐



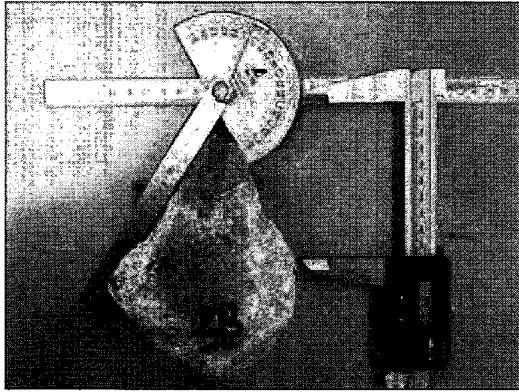
No. 25
 H (mm) : 102.23
 D_{\min} (mm) : 43.31
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 142
 D_{\max} (mm) : 88.98
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 82
 頂点形状 : 三角錐



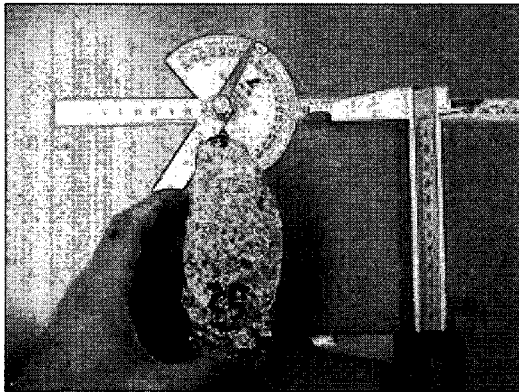
No. 26
 H (mm) : 81.51
 D_{\min} (mm) : 56.81
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 140
 D_{\max} (mm) : 86.48
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 142
 頂点形状 : 四角錐



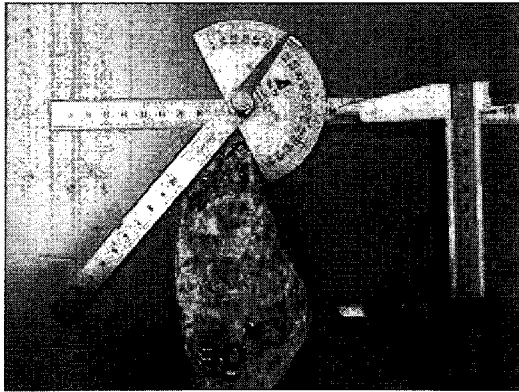
No. 27
 H (mm) : 80.33
 D_{\min} (mm) : 76.30
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 145
 D_{\max} (mm) : 96.08
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 150
 頂点形状 : 四角錐



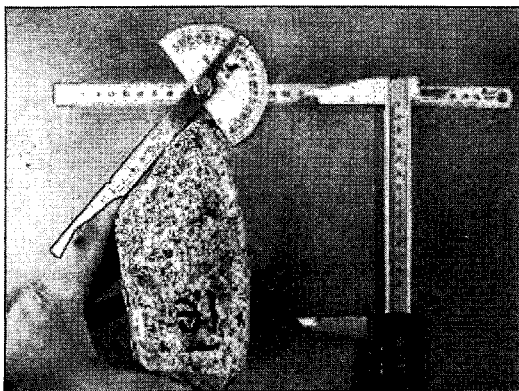
No. 28
 H (mm) : 69.57
 D_{\min} (mm) : 93.17
 $\alpha_{D\min}$ (度) : 139
 D_{\max} (mm) : 94.23
 $\alpha_{D\max}$ (度) : 127
 頂点形状 : 三角錐



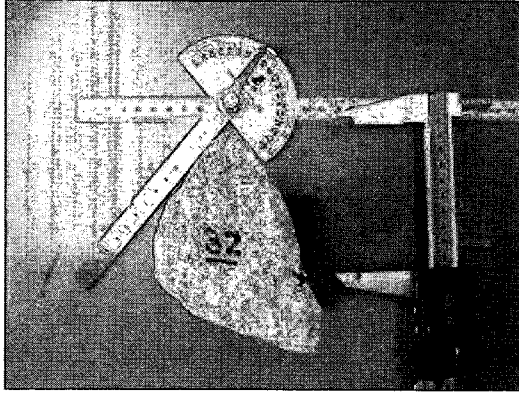
No. 29
 H (mm) : 79.47
 D_{\min} (mm) : 81.7
 $\alpha_{D\min}$ (度) : 103
 D_{\max} (mm) : 97.82
 $\alpha_{D\max}$ (度) : 154
 頂点形状 : 三角錐



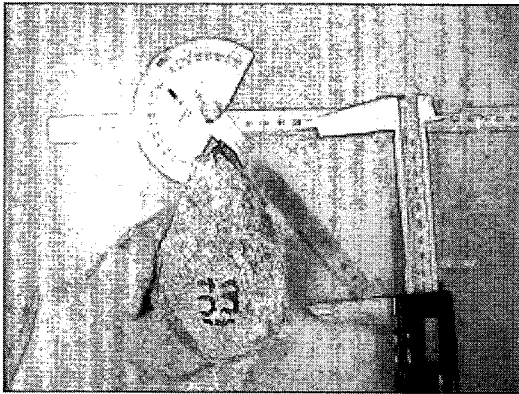
No. 30
 H (mm) : 73.65
 D_{\min} (mm) : 46.68
 $\alpha_{D\min}$ (度) : 104
 D_{\max} (mm) : 77.13
 $\alpha_{D\max}$ (度) : 151
 頂点形状 : 三角錐



No. 31
 H (mm) : 96.57
 D_{\min} (mm) : 67.34
 $\alpha_{D\min}$ (度) : 125
 D_{\max} (mm) : 97.85
 $\alpha_{D\max}$ (度) : 123
 頂点形状 : 三角錐



No. 32
 H (mm) : 73.08
 D_{\min} (mm) : 83.13
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 129
 D_{\max} (mm) : 88.55
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 99
頂点形状 : 三角錐



No. 33
 H (mm) : 72.64
 D_{\min} (mm) : 60.28
 $\alpha_{D_{\min}}$ (度) : 91
 D_{\max} (mm) : 83.45
 $\alpha_{D_{\max}}$ (度) : 124
頂点形状 : 三角錐