

原 著

Studies on Physical Properties of Diluent Materials. 1. Studies of the Powders. Shotaro SATO, Masana SUWANAI (National Agricultural Experiment Station.) Received November 14, 1949. Botyu-Kagaku 14: 1-10. 1949 (With English Resumé p. 10)

1. 粉剤の概作 I 稀釋劑の静力學的考察 佐藤庄太郎, 諏訪内正名〔農林省農事試験場農薬部〕24. 11. 14 受付

I. 緒 言

DDT, BHC の出現以來, 農薬が粉剤の形態で使用する事が多くなつた。粉剤の生物体への作用機構の解明は, 極めて重要であるが又可なり複雑な問題である事が予想される。先づ第一の段階として, 有効成分の稀釋劑として用ひられる鉱物性粉体の物理性の測定を始めた。

実験試料は下記の如し。

1. 名 稱 ベントナイト, 群馬縣松井田産
2. 粉末度 300 メッシュ以上
3. 含水量 約12%
4. 見掛比重 0.420
5. 眞比重 2.54

測定温度, 湿度は冬期に於ける室温湿度である。粉体の物理性には含水量が大きな因子であるが, 本実験試料は含水量は一定ではない。粉体の粒子の大きさに就いても同様, 300 メッシュ以上のものの混合物である。粉体の概念の把握にさへ苦しむ現段階に於ては, 先づ斯うした試料に就いて実験を行ひ「粉体とは如何なるものか, その中では如何なる法則が支配して居るものか」を知る事に努めた。

II. 粉体とガラス面との間に働く摩擦力及び附着力の測定に関する予備的考察。(傾斜法)

測定操作及び結果。

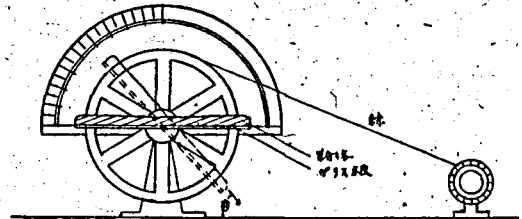
スライドガラス板 (面積 20 cm²) に, 粉体を 80 メッシュの篩を通して, 均一に積らせ, 第1圖に示せる装置にて靜かに傾斜せしめ, 粉体の滑落する角度 θ と, 滑落したる粉体の重量 W とを讀むときは, 第1表, 2, 3 項の数値が得られた。この θ , W の相互關係を座標上に求むる時は, 第2圖の如く, 双曲線の傾向を示す。

考 察

上記結果に就いて考へられる事は,

1. W , θ の關係が双曲線的傾向を有する事
 2. ガラス板の廻轉が, 90° を越し 180° に達するも滑落せぬ領域もある事
 3. 機械的振動その他除去し得る原因に依る測定誤差が常に入る事
3. 項に就いての考察は暫くおき, 1, 2 項に就いて

考へ見るに



第 1 圖

第1表 傾斜法に依る摩擦角及び附着力測定結果

スライドガラスの面積は 20 cm²
表中の A の單位は gram/20 cm² 力の單位で表はす
には $A \times g/20 \text{ cm}^2$ ダイーン, g = 重力恒数

No	重量 gr	滑り 角 度	A.	No.	重量 gr	滑り角	A.
1	0.7	180°	0.7	35	3.4	62°	1.22
2	1.0	180°	1.0	36	3.7	55°	1.11
3	1.2	84°	0.56	37	3.8	63°30'	1.42
4	1.2	153°	1.07	38	3.8	81°	1.78
5	1.25	79°30'	0.57	39	3.8	75°	1.64
6	1.25	180°	1.25	40	3.9	58°30'	1.28
7	1.50	180°	1.30	41	4.0	60°	1.37
8	1.25	60°	0.44	42	4.0	50°30'	1.00
9	1.45	118°	0.85	43	4.0	42°	0.59
10	1.45	102°	0.72	44	4.1	50°	1.00
11	1.50	180°	1.50	45	4.3	52°30'	1.17
12	1.50	89°	0.71	46	4.5	63°	1.65
13	1.60	109°	0.84	47	4.7	58°	1.55
14	1.70	91°	0.91	48	5.4	52°30'	1.49
15	1.70	70°	0.70	49	5.4	48°	1.23
16	1.95	76°30'	0.87	50	5.8	43°	0.96
17	2.0	120°	1.20	51	5.7	49°	1.35
18	2.2	78°	1.03	52	6.3	56°	1.96
19	2.3	85°	1.08	53	6.3	46°	1.27
20	2.3	66°	0.80	54	6.5	53°	1.84
21	2.4	64°30'	0.91	55	6.5	42°	1.00
22	2.5	88°	1.20	56	6.6	50°	1.65
23	2.5	64°30'	0.95	57	8.2	44°	1.16
24	2.5	77°	1.13	58	5.8	41°	0.79
25	2.6	50°	0.63	59	6.1	39°	1.07
26	2.7	49°	0.63	60	6.3	41°30'	0.91
27	2.8	54°	0.81	61	6.3	45°	1.20
28	2.9	65°	1.11	62	6.6	41°30'	0.96
29	3.0	63°	1.10	63	7.2	39°30'	0.86
30	3.0	51°30'	0.78	64	7.2	42°30'	1.15
31	3.2	65°30'	1.24	65	7.8	38°	0.78
32	3.3	63°	1.22	66	10.2	35°	0.65
33	3.3	72°30'	1.42	67	11.0	38°	1.20
34	3.4	60°	1.17	67個の平均			1.09

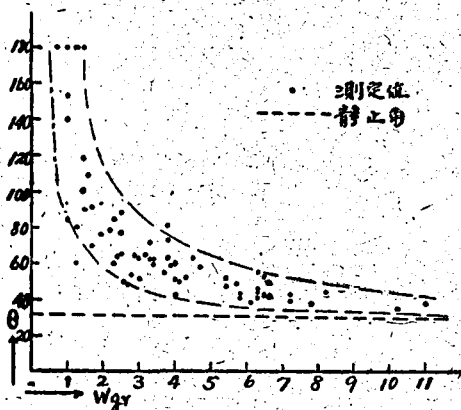
若し板上の物体が剛体である場合には、滑落の限界では、

$$\theta = \text{Constant}$$

$$\text{或は } \frac{F}{N} = \tan \theta = \mu = \text{Constant} \dots\dots (1)$$

但し F = 摩擦力, N = 法線抗力

なる関係ある事は剛体力学の教ふる所である。即ち剛体の場合には、 W の値の如何に関せず、 $\theta = \text{Const}$ なる横軸に平行なる直線上に θ を得べきである。しかるに測定結果は双曲線的傾向を有し、図に見られる様に、



第 2 図

(1) $W \rightarrow$ 大なる時は、 $\theta \rightarrow 30^\circ$ に収斂すると云ふ事は、 W が大なる領域にては大体に於て剛体摩擦の法則に従ふ事を意味し、

(2) W が $0 \rightarrow 1.5$ 領域にては $\theta \rightarrow \infty$ なる事は剛体的考察では説明し得ぬところである。 θ が 9.0° 以上の時は剛体の場合には上記 (1) 式の N に相当する力を持ち合せないのであるが、この力を粉体に特有なる、ガラス面に対する粉体の附着力と考へた。

「註、附着力 (Adhesion) とは異物質間に作用する力。凝集力 (Cohesion) とは同物質間に作用する力と約束する。而して上記測定法に依る時はその両力の内小なる方が現はれる事となる。即ち附着力 $>$ 凝集力なる場合には粉の薄膜を残して滑落する筈である。ベントナイトの場合はその逆の傾向が大きい。即ち附着力が θ , W 関係に現れて居ると考へられる。」

尚ほ第3項の偏差の問題は積つて居る粉体の内部に於ける粒子間隔の変位、歪等によるものと考へられ、此等も粉体の特性として重要な因子ではあらうが、本実験にはこれを一應無視して取扱つた。従つて斯様な偏差のある数値に就いては、多数例の平均値を取つた。

III. 粉体とガラス面との間の摩擦係数の測定、

(i) (水平牽引法)

上記測定結果には、摩擦力と附着との相関連したる数値が現れてゐるものと考へられるが、其の測定値より附着力を求むるには他の方法で摩擦係数の眞の値を得る事が必要であるよつて第3図に示せる装置を用ひて、下記2操作の比較実験を行い摩擦係数を求めた。

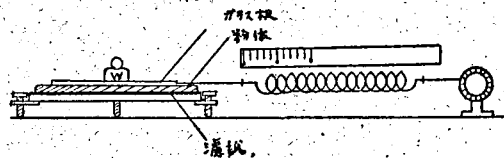
(i) 試料を水平濾紙板面上に、約 2~3 mm の厚さに均一に篩落した上に、スライドガラスを静かに置き、其の上に錘を乗せる、ガラスと錘の重量和を W とし、それを水平方向に Spring Balance にて引きガラス板が滑動し始むるに要する最小の力を求め、それを W' とする。 W と W' とより

$$\frac{W'}{W} = \tan \theta$$

より、 θ を求め、これを静止角として座標にて表現する時は第4図の如くなる。

「註、詳細なる測定数値は略す。尚ほ Spring Balance は鋼鉄線にて手製小型のものである。又 W の極く小さい場合には細いガラス棒秤を用ひた。」

此の場合にも θ と W との関係は、 W の値の如何に拘らず $\theta = \text{Constant}$ なる剛体の場合の法則に従はず、傾斜法にて得られたと同様な傾向が認められる。即ち粉体の附着力が此の測定の中にも変数として入つて居る事を意味する。而し $W \rightarrow$ 小に従ひ $\theta \rightarrow$ 大になる傾向が傾斜法に依る値より小さいのは、この場合の



第 3 図

方が附着力が此の力学的平衡関係に關與して居る度合の小さな事を意味すると考へられる。一方附着力の大小は接触面積に關係するが、其の面積を実測する事は困難な事であり、従つて此の方法では摩擦係数も附着力も求め得ない事を知つた。

(ii) 粉面平滑法、

前記実験に依るも摩擦係数を求め得ない事を知つた。一方剛体力学の教ふる処に依れば「摩擦係数は接触面の廣狭には無関係である」此の性質を利用し、接触面を充分小にすれば附着力の影響を少なくし得るれば測定法に困難を感じる。面を一定にして W を充分大にして測定すれば附着力の影響は少くなくし得るが、錘に依る粉体層の歪等の因子が入つて来る。一方粉体のガラス板に対する附着力の最大なる部分は、篩落された自然のまゝの粒子配列の不平滑なる局部なるもの

と仮定しその部分を除去する爲次の処置を講じた。

即ち篩落された粉面に軽いガラス板を乗せ、水平に滑らせ、平滑にする、それにガラス板と錘を乗せ、Spring Balance で引く操作は前と同様である。

$$\frac{W'}{W} = \tan \theta \quad \text{より、} \theta \text{ を求める。}$$

第 2 表 水平牽引法に依る摩擦係数

—(前処置を講じたもの)—

実験 群 No.	回数 No.	載荷重量 Wgr.	Spring 秤 延び W'gr	$\frac{W'}{W} = \tan \theta$	静止角 θ
1	1	4.85	2.73	0.563	29°20'
〃	2	〃	3.10	0.638	32°30'
〃	3	〃	3.10	0.638	32°30'
〃	4	〃	2.85	0.588	30°30'
〃	5	〃	3.05	0.628	32°10'
〃	6	〃	3.10	0.638	32°30'
〃	7	〃	2.92	0.602	31°0'
〃	8	〃	2.97	0.612	31°30'
〃	9	〃	3.05	0.628	32°10'
〃	10	〃	3.13	0.645	32°50'
〃	11	〃	3.17	0.653	33°10'
〃	12	〃	3.17	0.653	33°10'
〃	13	〃	3.13	0.645	32°50'
13回の平均		4.85	—	0.625	32°0'

以下各群の平均値のみを記入す

2	22	3.85	2.35	0.610	31°20'
3	12	5.85	3.50	0.599	30°55'
4	10	6.85	4.02	0.587	30°20'
5	10	7.85	4.72	0.601	31°0'
6	20	8.85	5.31	0.600	31°0'
7	13	9.85	5.98	0.607	31°10'
8	11	11.85	6.97	0.589	30°30'
9	13	13.85	7.85	0.566	29°30'
10	12	14.85	8.47	0.571	29°40'
11	10	15.85	8.70	0.587	30°0'
12	10	16.85	9.83	0.583	30°15'
13	19	18.85	10.78	0.572	29°50'

第2表の如く一つの W の値に対し θ は一定の値を示さず 2~3° 多くて 4° 位の差を示すが、これは傾斜法の場合の第3項に類似の原因即ち至等の原因に依るものの外に、此の場合にはスライドガラスの全面積が、眞の接触面積ではなく、厳密には数箇所の部分のみが接触して居、その部分のみが附着力の影響を受け、而もその面積の大小が各測定に θ の偏差となつて現れて居る事が大きな原因と考へられる。本報には一

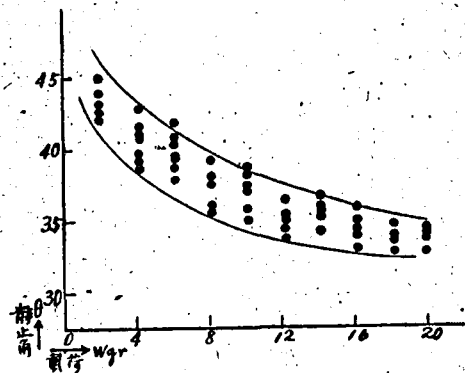
應その両者の原因によるものは無視して考へる。即ち同一の W に対する多くの θ 値の平均を取つた。表にては実験群 No. 2 以下は平均値を示した。それを座標にて示すと第5図の如くなる。これを前記無処置法と比較する時、それとは異なり θ が一定となる傾向が見られる。今其の平均値を取り最小自乗法に依り直線化して見る時は

$$\mu = \mu_0 + kW \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{但し } \mu_0 = 0.6225 \quad k = 0.29 \times 10^{-2}$$

を得た。(第5図で 32° にて従軸を切る直線)

以上よりして「ガラス面とベントナイトとの摩擦係数は $\mu = 0.623 + 0.29 \times 10^{-2} W$ で表される」ことを知る。



第 4 図

IV. ガラス面に作用する粉体の附着力の計算に就いて。

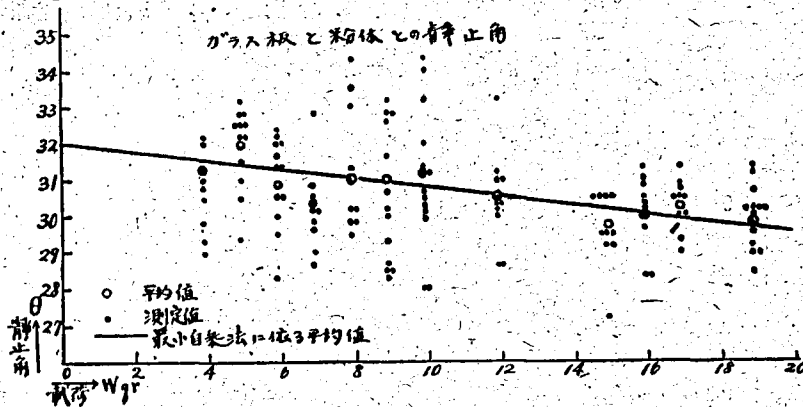
実験 II. にて得られた結果を次の様に解釈した。今水平に保たれたガラス板上に、粉体 Wgr を乗せ、静かに傾斜して行くと、其等の間に作用する力の関係が、第6図に示した如くなる。即ち乗せた粉体の重量 W に相当する、式 (2) より得られる μ に対応する静止角 θ_0 の大きさに、板の迴轉角 θ_1 が達する迄は、粉体を板面に拘束して置くのには、摩擦力 F が主として働く。〔第6図 (1) 参照〕 θ_1 の増大と共に F が増大し、 $\theta_1 = \theta_0$ にて F が極限に達し、 θ_1 が更に増大すると第6図 (2) の如く、附着力 A のガラス面に平行分力が補充として現れ、これも極限に達すると、粉体は滑落する事となる。斯る考察に基づいて、附着力を計算するときは第1表4項 A の値を得る。但し $90^\circ < \theta_1 < 180^\circ$ の範囲では、粉体を拘束し置く力のガラス板に垂直分力 N としては、 $90^\circ > \theta_1$ の場合のガラス板の法抗力と同種の拘束力は考へられず、附着力と凝集力のガラス板に吸付く力を考へべきであり、而も滑落の限界は、其等の内、力の小なる方に支配さ

れる筈である。

我々はベントナイトに於ては

附着力<凝集力、と仮定して置いた。

従つて $90^\circ < \theta_1 < 180^\circ$ の範囲では〔第6図(3)〕
A ベクトルと、N ベクトルとの合力 A が附着力の
極限值に達する時滑落する事となる。実験 No. 1~18
迄は此れに基づいて計算した。「註粉体の吸引力 N の
実在は、第6図(4)の如く、電球等球状の面上を粉体
を滑らすとき、球の垂直切線に沿つて落下せず相当内
側まで吸込まれる事で判る。



第 5 図

尚ほ附着力 A を計算する式を示せば、

(1) θ_1 が 90° 以下の場合

$$A = W \sin \theta_1 - W \sin \theta_0$$

但し θ_0 は (2) 式にて求める μ に相当する静
止角とす。

(2) θ_1 が $90^\circ \sim 180^\circ$ の場合

$$A = \pm \sqrt{(W \cos \theta_1)^2 + (W \sin \theta - W \sin \theta_0)^2}$$

但し θ_0 は上と同様。

第1表の A の値を見るに、1.8 gダイン/20 cm² と
0.5 gダイン/20 cm² との間にあり、平均 1.09 gダイ
ン/20 cm² である。g は重力の恒数、第7図は之を示
す。

V. 粉体粒子間の摩擦係数及び凝集力の測定

(i) 水平牽引法に依る測定

第3図に示せる装置を用ひて、大体 III法と同様
操作の測定を行ふ。但し此度は前のスライドガラスの
代りに其のガラス面に濾紙を貼り付け予め粉末を其の
面になすり付けその上に粉体を薄く篩落したものを、
水平濾紙面上に積らせた粉体層の上に乗せ、水平方向
に引く、載荷重量 W と牽引力 W' より、

$$\frac{W'}{W} = \tan \theta. \text{ これより静止角 } \theta \text{ を求む、} -W, \theta$$

の関係を座標にて示すと第8図になる、これは傾斜法
に依るガラス面と粉体との摩擦係数、及び附着力測定
の際の W, θ の関係と類似する。(第3表参照)。

今此の W, θ より摩擦係数 μ を求めんに、此処に
ても $\mu = \mu_0 + kW$ の法則に従ふものと仮定し、kW
の項は省略すれば、 μ に対応する θ_0 は一定になり、
これは測定された静止角の平均値を結ぶ双曲線の漸近
線を意味する。従つて此れを求めるには図示された双
曲線より解を求めるか、或は充分大きな W の領域の
静止角 θ を結ぶ曲線と無限遠点にて相接する直線を取
ればよい。

以上よりして、Wを
充分大きくした場合、
W=104.6 gr の静止角
 $\theta=32^\circ$ より、摩擦係
数 μ に対応する静止
角 θ_0 を 31° と推定し
た。一應 θ_0 に此の値
を與へて、前項の附着
力計算と同様な考察に
て凝集力を算出したも
のを、第4表に掲げる。
表に示される様に凝
集力の平均値として
1.15 gダイン/20 cm²

を得た。

第3表 水平牽引法に依る静止角の測定

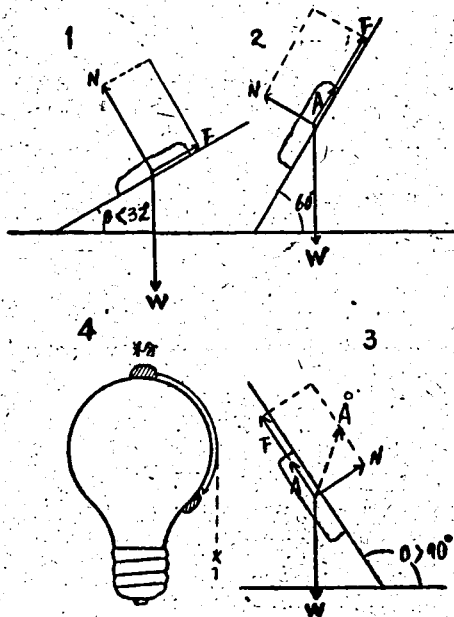
実験群	回数	載荷重量	Spring秤	摩擦係数	静止角
No.	No.	Wgr.	延び W'gr	$\frac{W'}{W} = \tan \theta$	θ°
1	1	3.50	3.75	1.07	47°
〃	2	〃	4.00	1.14	45°50'
〃	3	〃	3.85	1.10	47°50'
〃	4	〃	3.75	1.07	47°
〃	5	〃	4.00	1.14	45°50'
〃	6	〃	4.30	1.23	51°
〃	7	〃	4.46	1.26	51°50'
1	平均	3.50	4.00	1.14	45°50'
以下平均値のみを記入す					
2	7	5.5	5.61	1.02	45°30'
3	7	8.5	7.18	0.845	40°10'
4	8	10.5	8.07	0.769	37°40'
5	8	13.5	10.30	0.762	37°10'
6	7	18.5	12.8	0.692	34°40'
7	2	104.6	65.6	0.627	32°10'

註. 実験群 No. 7 は滑車法に依る

第4表 水平牽引法に依る凝集力の計算

ベントナイト粉粒と粒との静止角を 31° と見做す
 $\times g/20 \text{ cm}^2 \text{ ダイン} = \text{凝集力}$, $g = \text{重力値数}$

実験 No.	載荷量 Wgr	静止角 θ	$F = W \sin \theta$	$R = W \sin 31^\circ$	$C = F - R$
1	3.5	$48^\circ 50'$	2.63	1.80	0.83
2	5.5	$45^\circ 30'$	3.92	2.83	1.09
3	8.5	$40^\circ 10'$	5.60	4.38	1.22
4	10.5	$37^\circ 40'$	6.42	5.40	1.02
5	13.5	$37^\circ 10'$	8.16	6.95	1.21
6	18.5	$34^\circ 40'$	10.52	9.50	0.99
7	104.6	$32^\circ 10'$	55.70	54.00	1.70
平均 値					1.15



第 6 図

(ii) 傾斜法に依る測定

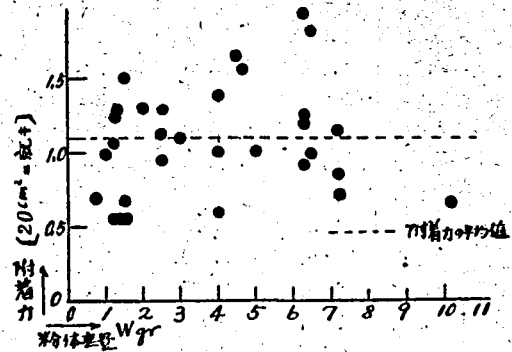
粒子間の摩擦係数及凝集力の測定を別法で行なつて見た。即ち第1図の装置を用ひ前と同様に行ふのであるが、今度はガラス板の代りに襪紙面を用ひ、その上に粉体層を更に前項の如く処置したる粉付きの襪紙貼付ガラス板と鍾を乗せる。(鍾はガラス面に貼付け傾斜してもガラス面より滑落せぬ様にする)そして載荷物(重量 W)と滑落の角度 θ の関係を求め、平均値を出したグラフは第9図である。これは前項で求めた第8図とほとんど等しい数値を示して居る、従つて前項と同じ仮定のもとに、凝集力の計算を行なふもほとんど等しい数値が得られる筈である。

(iii) 考 察

上記二法に依り求めた数値はほぼ相等しく、摩擦係数に対応する静止角としては 31° を得た。これはガラス面に対する値と全く等しい数値である事が注目される。

凝集力の値は、平均値として $1.15 \text{ g ダイン}/20 \text{ cm}^2$ である。一方ガラス板に対する附着力の平均値としては、 $1.09 \text{ g ダイン}/20 \text{ cm}^2$ の値を得たが、これは我々の仮定 凝集力 > 附着力に合致はするが、其等の数値の差は僅小である。これを摩擦係数に於ても全く一致する事と考へ合せる時、次の疑問が起る。

「我々が先きにガラス板に対する粉体の作用と考へて来たものは、実はガラス板面に附着して居る粉体の薄



第 7 図

膜に対する、粉体粒子の附着力、即ち凝集力では無いだらうか」と。而し観察の結果は薄膜の存在を否定する。

一方此の凝集力測定方法にては、操作の不備の爲、凝集力の測定された実際の粉体断面積は、使用されたスライドガラスの面積 20 cm^2 よりは幾分小さかつたであらうとは考へられる。即ち凝集力としては、幾分大きな値を得る事になる。これは次項の結果と対比しても推定出来る。

VI. 限界粉高測定に依る凝集力の算出に就いて

(i) 測定方法、其の1

第10図に示せる如く、厚さ既知のスライドガラスの一切縁を水平に置き、これに相對せる他の一切縁上に、上方より粉を篩落し、粉を出来るだけ高く積らせた場合の粉高 H を読み、厚さ 2 S に対する高さ H を求める。

ガラス板の枚数を増加し又は厚さの異なるガラス板を用ふるなどの方法にて、種々の大きさの 2S に対する粉積高 H を測定する。

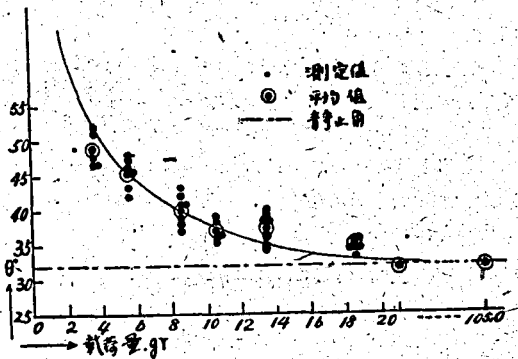
(ii) 測定の結果

実験結果は第5表に示した。それを S—H 座標にて示すときは第12図の如くなる。図にて明かな如く

$S=0.5$ cm 以上の時は S の増大に従ひ H は直線的に上昇し $S=1.0$ cm の点にて急激に屈折し、 S の増大にも拘らずかへつて H の減少を示す(実際には $S=1.0$ cm 以上の時は内部崩潰が粉山の内に起る)。又

第 5 表 限界積粉, $S-H$ 関係数

実験 No.	板厚 $2S$ cm	S cm	最大高 H cm	最大高 2 ケ 平均 H cm
1	0.065	0.0325	0.585	0.567
2	0.140	0.0700	0.865	0.840
3	0.225	0.1125	1.060	1.060
4	0.195	0.0975	1.080	1.080
5	0.275	0.137	1.370	1.570
6	0.270	0.135	1.275	1.275
7	0.335	0.167	1.620	1.620
8	0.420	0.210	2.125	2.082
9	0.550	0.275	2.460	2.455
10	0.620	0.310	2.710	2.667
11	0.300	0.150	1.735	1.732
12	0.670	0.335	2.710	2.700
13	0.985	0.493	3.675	3.662
14	1.035	0.502	3.560	3.555
15	0.600	0.300	2.635	2.560
16	1.335	0.667	3.955	3.855
17	1.610	0.805	4.350	4.302
18	1.930	0.965	4.735	4.705
19	2.280	1.140	4.235	4.235



第 8 圖

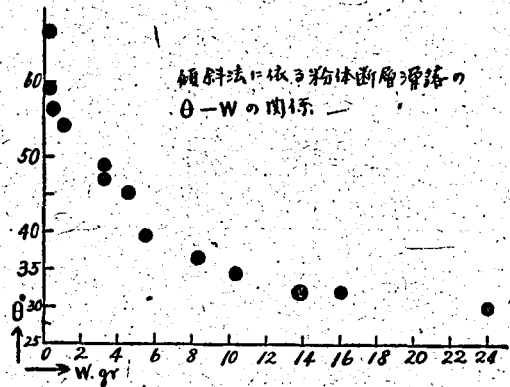
幅の極めて小なる所より、 $S=0.3$ cm 位の所迄の場合も、同様に直線的に上昇する。 $S=0.3$ cm $\sim$ 0.45 cm の間は、 $S=0\sim 0.3$ cm 領域と同一の直線に乗る傾向が見られるが、測定偏差大きく、これのみでは断言出来ぬ。而し $S=0.5\sim 1.0$ cm 領域の示す直線の延長には乗らぬ事は次の実験結果と比較し明かである。

(iii) 測定方法 其の 1

上記 S, H 関係をより明確に判定する爲に、次の

実験を行なつた。第 11 図の如き角度 10° の双(ガラス板にて裏打したる雲母板を用ひた)を水平に置き、上方より粉体を篩落し、各部分で最大の高さに達した時、写真に撮り、その結果より S と H を計算する。其等の座標は第 12 図点線 II にて示したものである。又双上に積つた粉山の様子は第 11 図に模写した。それに依れば明らかに $S=0.3$ cm 附近と、 $S=1.2$ cm 附近に屈折点を生ずる。

これを (i) 方法に依る結果と比較するに、多少のずれはあるが、各直線部分の方向係数の相等しい事を知る。と同時に (i) の結果よりしては判定困難であつた屈折点が $S=0.39$ cm 附近に存在する事が判定出来た。



第 9 圖

VII. 測定結果の現象論的解釋

(i) の方法で得られた、連折直線群(第 12 図 I)の $S=0.03\sim 0.45$ cm 領域(a 直線領域と稱す)の最高平均値を夫々の S の値に対して取り(測定の實際にあつては眞の最高値を記録するには相当の努力を要す。急激に崩落するからである。従つて最高近い点を多数測定し、最高 2 ケの平均値を取つた)(第 5 表第 5 項参照)、最小自乗法にて直線化すると、図にて実線にて表した a 直線を得た。同様に、 $S=0.45\sim 1.0$ cm 領域に対しては、b 直線を得た。

其等を直線を表はす方程式で示せば、

$$(a) \text{ に対しては } H_a = H_0 + kS$$

$$\text{但し, } H_0 = 0.37, \quad k = 7.50$$

$$(b) \text{ に対しては } H_b = H'_0 + k'S$$

$$\text{但し, } H'_0 = 2.38, \quad k' = 2.4$$

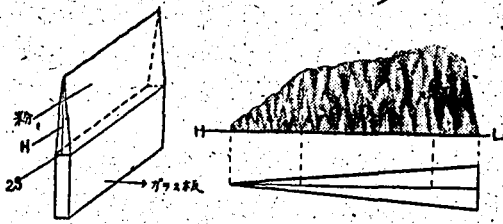
又其等の直線の交点として、屈折点 B、を得る。b 直線の次の領域に就いては、測定未完了ではあるが、最高値を示す C 点(座標 0.96 cm, 4.7 cm)を屈折点と見做し得る。

次に直線 a, b を延長して従軸を切る点を夫々 A', B' とする。点 A', B', C, 及び直線 a, b は次の事を意味する。

直線 a に就いて——今直線 a を原点を通る様に平行移動したものを a' とせば、此の直線に乗る S—H 関係を有する三角形は、相似形にして、底角は直線 a' の方向係数

$$k = \tan \theta = 7.5 \text{ に相当する } \theta = 82^\circ 30'$$

の筈である。



第 10 図

従つて直線 a で表はされる S—H 関係のものは、底角が $82^\circ 30'$ の相似三角形の上に、第 13 図に示した様に、一定の高さ、第 12 図にては OA' で表はされるものが乗つて居る複三角形の頂点の座標である。

A' 点に就いて——これは図で明かな様に $S=0$ のとき積り得る高さを意味し現実には不可能な事であるが、或幅 2S に対し上方から粉を篩落される、つまり積らねばならぬ要求に対して、a 直線領域にて安定に積り得る最高の高さ、底角にして $82^\circ 30'$ の平衡関係の保たれた三角形の上に、電磁力の如き別種の力で準安定を保つてゐるものと見做せば一應解決が付く。又実際の観察に依つても此の領域にては第 13 図の形を認め得る事は、此の別種の力の存在を裏付けるものである。

直線 b に就いて——a 直線領域にて $S \rightarrow 0.4 \text{ cm}$ に達する迄は、底角 $82^\circ 30'$ を保つ形にて力学的平衡条件を充して高さを増して行き、S 点に達したとする。此れより先きは S が増大すると、底角 $82^\circ 30'$ の形を保てなくなる。即ち b 直線領域に入る。前と同様に直線 b' を原点まで平行移動したものを、b' とする。その方向係数は

$k' = \tan \theta' = 2.44$ であり、これに相当する θ' は $67^\circ 40'$ である。これは前と同様に、b 直線領域に於ける安定三角形の底角を意味する。今 B 点にては第 13 図 (2) の $\triangle A'CS$ の形に積つてゐるとして、更に S が増大するに従つて、高さ H の増加の勾配が

$$\frac{\Delta H}{\Delta S} = \tan 67^\circ 40' \text{ であるとする}$$

$\tan 67^\circ 40' = 2.44 = k'$ となり直線 b の方向係数を意味する。

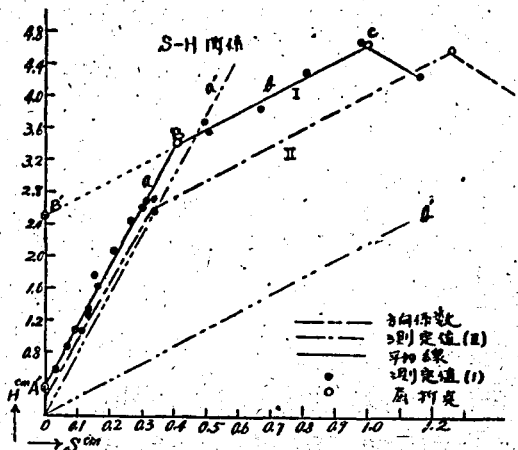
換言すれば b 直線領域では、第 13 図 (2) に示した如く、上方からの粉体の落下に対し、粉体の堆積する様相は、底角が $67^\circ 40'$ なる安定三角形の底辺を $\frac{\Delta H}{\Delta S} = 2.44 = \tan 67^\circ 40'$ の勾配にて増大させつゝ、上部には点に於ける形を乗せて居る形の領域である。従つて直線 b はこの形の三角の頂点の軌跡である。

B' 点に就いて——上述により B' は上部に乗つて居る不安定三角形の高さを意味する。

C 点に就いて——上記の様相にて S が増大して行き、此れより更に S が増大すると底角 $67^\circ 40'$ の形の三角形を保ち得なくなる。その限界の S—H 関係が C 点である。

実際の観察では、此の点にて大きな内部崩壊を起す事を知る。

以上にて S の $0 \rightarrow 1.0 \text{ cm}$ 全領域に亘る現象論的の説明が出来た。



第 11 図

VIII. 測定結果の數量的計算に依る解釋

(i) 任意の面に於て粒子間に作用する凝集力の計算。

仮りに幅 2S のガラス板に粉体が h の高さに積つたとする。ガラス面に垂直、而も其の一切縁に直角な面 (以後 T 面と稱す) で切つた断面三角形を ABC、A より BC に下した垂線の足を H とすれば、(第 14 図参照)

$$AH = h$$

$$BH = S$$

断面に直角な、B を通り AH を 0 にて切る平面を考へ、それがガラス面 BC となす角を θ_1 とする (以後 θ_1)

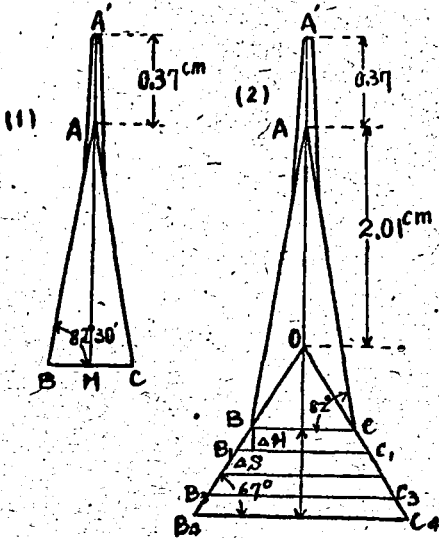
面と稱す)。

今 θ_1 面と、 θ_1 面の上方に乗つて居る、T 断面が $\triangle ABO$ で表はされ、單位の奥行を有する粉体三角柱の底面 BO との、即ち θ_1 面を断層と考へたときの、両面に於ける粒子間に働く力の關係を計算して見るに、粉体三角柱の重量を W とし、 θ_1 面に於ける摩擦力、凝集力の關係を前述の如く考へ、粉体粒子間の静止角を θ_0 とせば、

$$\begin{aligned} \theta_1 \text{ 面に平行方向の全抗力} \quad R &= W \sin \theta_1 \\ \theta_1 \text{ 面に平行方向の最大摩擦力} \quad F &= W \sin \theta_0 \\ \theta_1 \text{ 面に平行方向の抗力の内} \\ \text{凝集力の受持つ抗力} \quad C_{\theta_1} &= W (\sin \theta_1 - \sin \theta_0) \\ &\dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

其の凝集力の單位面積に就いての大きさ

$$C^{\circ}_{\theta_1} = W (\sin \theta_1 - \sin \theta_0) \frac{\cos \theta_1}{s} \dots\dots\dots (2)$$



第 12 圖

粉体の見掛の比重を D とすれば

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} S (AH - OH) D \\ &= \frac{1}{2} S^2 (\tan \theta - \tan \theta_1) \end{aligned}$$

但し $\theta = \angle ABC$

$$\begin{aligned} \text{従つて} \quad C^{\circ}_{\theta_1} &= \frac{1}{2} S D (\tan \theta - \tan \theta_1) \\ &(\sin \theta_1 - \sin \theta_0) \cos \theta_1 \\ &\dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

となる。

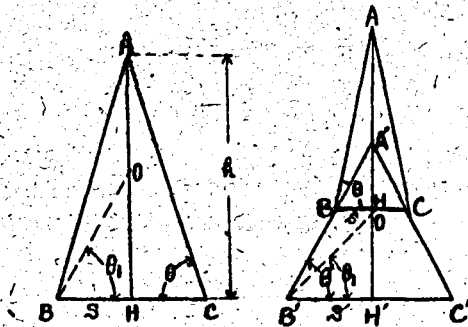
a 直線領域に就いて、前項に述べた、底角 $82^\circ 30'$ の安定三角形上に乗つて居る、一定高を有する準安定形のもの省略すれば

$$\tan \theta = 7.50$$

$$\theta_0 = 31^\circ \dots\dots\dots \text{水平牽引法に依る値、}$$

$$D = 0.420$$

これ等を式 (3) に入れ、 S には此の領域に於ける夫々の値を與ふれば、 $C^{\circ}_{\theta_1}$ は θ_1 の函数となる。斯くして求めた S 、 θ_1 、 $C^{\circ}_{\theta_1}$ の数値を第 6 表に示す。[20 cm^2 あたり数値] 同計算を、b 直線領域に就いても行ふ。



第 13 圖

第 6 表 θ_1 面に作用する凝集力の表

單位、 $C_{\theta_1} \times g \cdot \text{ダイン} / 20 \text{ cm}^2$, $g = \text{重力恒数}$ 。

θ_1 面角	31°	40°	50°	55°	60°	70°	82°30'
S cm							
0.1	0.00	0.268	0.427	0.444	0.425	0.291	0.00
0.2	0.	0.535	0.840	0.888	0.850	0.582	0.
0.3	0.	0.803	1.28	1.32	1.27	0.87	0.
0.39	0.	1.04	1.66	1.76	1.65	—	0.
0.5	0.	0.94	1.47	1.50	1.40	—	
0.6	0.	0.92	1.38	1.39	1.26	—	
0.8	0.	0.92	1.33	1.30	1.22	—	
1.0	0.	0.97	1.37	1.31	1.09	—	
1.2	0.	1.05	1.45	1.36	1.10	—	
1.4	0.	1.15	1.51	1.44	1.13	—	
1.6	0.	1.25	1.68	1.54	1.19	—	

此の領域に於ける、T 断面に現れる粉体山の切断面は第 15 図に示した。今下部に在る安定三角形を $A'B'C'$ とし、上部に乗る準安定三角形を ABC 、 AA' を結ぶ直線即ち $B'C'$ への垂線の足を夫々 H 、 H' とし、 B' を通る θ_1 面が此の垂線を切る点を O 、

$\angle ABH = \theta$, $\angle A'B'H' = \theta'$, $BH = S$, $B'H' = S'$ とせば, θ' 面の上に乗つて居る奥行 1 cm の複三角柱 $ABB'O$ の重量は

$$\begin{aligned} W &= (\triangle ABA' + \triangle A'B'O) \times 1 \times D \\ &= \{(\triangle ABH - \triangle A'BH) + (\triangle A'B'H' - \triangle OB'H')\} \times D \\ &= \frac{1}{2} \{S^2(\tan \theta - \tan \theta') + S'^2(\tan \theta' - \tan \theta_1)\} D \end{aligned}$$

然るに $\triangle A'B'C'$ は屈折点 B に於ける粉体山の断面に相当するから, $S = 0.39$ cm

$$\begin{aligned} \text{又 } \tan \theta' &= 2.44 \dots (\text{直線 a の方向係数}) \\ \tan \theta &= 7.50 \dots (\text{直線 b の方向係数}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{従つて, } W &= \frac{1}{2} \{0.39(7.50 - 2.44) + S'^2(2.44 \\ &\quad - \tan \theta_1)\} D \\ &= \frac{1}{2} \{0.77 + S'^2(2.44 - \tan \theta_1)\} D \end{aligned}$$

従つて θ_1 面に作用する単位面積あたりの凝集力は,

$$\begin{aligned} C'_{\theta_1} &= \frac{1}{2} \{0.77 + S'^2(2.44 - \tan \theta_1)\} (\sin \theta_1 \\ &\quad - \sin \theta_0) \frac{D \times \cos \theta_1}{S'} \end{aligned}$$

前と同様 $D = 0.420$, $\theta_0 = 31^\circ$, S' に此の領域に於ける夫々の値を與ふれば, C'_{θ_1} は θ_1 の函数となる。斯くして求めた, S' , θ_1 , C'_{θ_1} の数値は第 6 表である。表示した数値を座標で表せば第 16 図となる。

此の曲線座標より次の事を知る。

(1) a 直線領域では, S の増大に対する C_{θ_1} の増大の割合は一定にして, C_{θ_1} の極大になる θ_1 面は 53° である。

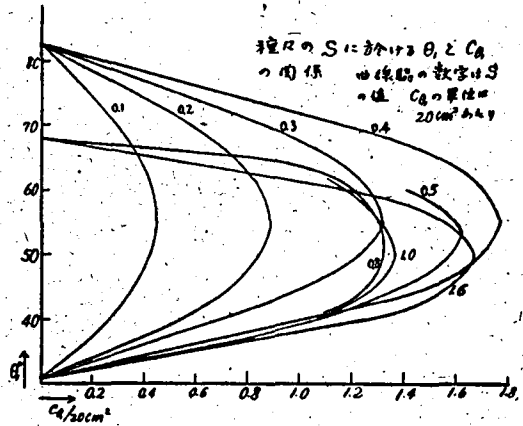
(2) 屈折点 B に於て, S の増大に対する C_{θ_1} の増大の割合が極大に達し, b 直線領域に於ては, S の増大に共なり少しく減小の傾向見られ, $S = 0.8$ に相当する所にて極小値を示し更に S が増大すると C_{θ_1} は再び増大する。

(3) b 直線領域では最大凝集力の現れる面は S の増大と共に 53° より降下の傾向を示し, 屈折点 C に相当する S に対しては 50° を示す事。「註粉体の性質を測定する法に直径約 10 cm の円板を水平に置き, それに粉体を積らせて出来る円錐形の高さ, 角度等を測定する方法があるが, その際現れるのは此の角度である」

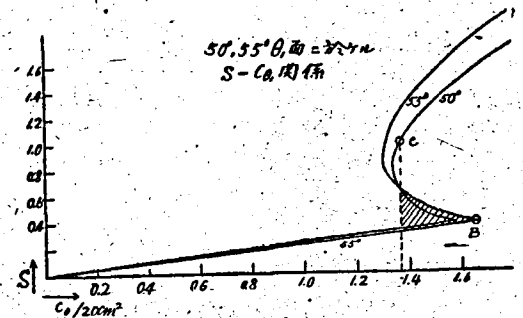
尚ほ 53° 及び 50° に θ_1 面を取つた際の S の各値に対する凝集力の値を第 17 図に示した。図より次の事を知る。

(1) θ_1 面を 55° に取る場合, 屈折点 B ($S = 0.39$ cm) にて最大の凝集力が現れ, その値は 1.76 g ダイン

/20 cm² であるが, 若し供試粉体の限界凝集力が屈折点 C ($S = 1.0$ cm) に現れた値, 1.37 g ダイン/20 cm² であるとする, B 点附近では限界超越となり, 従つて図の斜線部分は現れない筈である。これは VI, (ii) 項に指摘して置いた高さの測定偏差の大きかつた事実と符合するものである。



第 14 図



第 15 図

(2) b 直線領域では, 各種の S に対し相等しい極大凝集力を示し, それが現れる θ_1 面は約 50° の面である。

(3) a 直線領域及び A' 点に就いては充分解析が出来ない, これは重力のみに関する力学では解決し得ない即ち電磁力にも関係する領域であり, 従つて粉体の附着力にも関係がある。農業としては最も重要な部分であり, 今後の大きな課題である。

IX. 総 結 論

(1) 粉体とガラス面との接触面に於て, 其等の力学的平衡関係には, 摩擦力と附着力との, 少なくとも二種類の力が関係して居る事が認められ, 夫々の限界値として

$$\begin{aligned} \text{平均摩擦係数 } \mu &= \tan 32^\circ \sim \tan 31^\circ \\ \text{平均附着力 } A &= 1.09 \text{ g ダイン/20 cm}^2 \end{aligned}$$

(2) 粉体粒子間に於ける静力学的平衡関係にも、摩擦力と凝集力とに分類し得る少なくとも二つ以上の力が関係して居る事が認められ、其等の限界値として

$$\text{平均摩擦係数} \quad \mu = \tan 31^\circ$$

$$\text{平均凝集力} \quad C = 1.3 \sim 1.4 \text{ g ダイーン}/20 \text{ cm}^2$$

なる値が得られた。

これ等の値は、粒子集合体に平面断面を仮定し、その断面積に対する平均値であつて、粒子の表面をも考慮に入れたものではない、従つて、粒子1個のエネルギーとしての値とは別のものである。

(3) 粉体に関する摩擦法則の、剛体のそれとは異なる特性として、次の如き様相の法則が存在する事を知つた。模形的に表現するならば「スキーを履いた人

間を(粒子と考へる)雪面に立たせ、面を傾けるか、綱で引張るかする時、人間の取る状況の変化を最も少なく受ける爲の平衡移動は(Le chatelier's theorem)スキー面の雪面に対する静止角が、限界になると、身体を倒し其の抵抗を利用するだらう(凝集力に相当する)、それも限界になると手先きを利用して獅噛付くだらう(附着力に相当する)此の場合手先を利用出来るかどうかは、相手の面の性質如何に依る」この手先きの問題は、農薬として最も重要なものであり、今後の我々の問題である。

最後に研究費の一部は文部省科学試験研究費によるものであり、又本実験の測定に関しては堀口治夫、石井至氏等の助力を得た、茲に記して深謝します。

Resume

We carried out the experimental work in order to know the physical properties of dusting diluent, for example bentonites. At first we compared the several methods for measuring the physical properties. Then by the method taken for this purpose we had the following results.

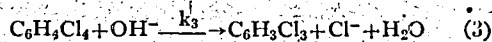
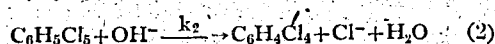
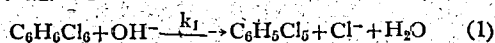
1. The coefficient of static friction related to glass plate and bentonites had calculated into 0.60—0.62.
2. The adhesion of bentonites to glass plates had calculated into 5.45 g : dyne/100 cm².
3. The cohesion in bentonites had calculated to 6.85 g dyne/100 cm².

The Alkaline Dehydrochlorination of the Ienazene Hexachloride Isomers. I, (Studies on Agricultural Chemicals by the Polarographic method IV) Minoru NAKAZIMA, Tatsuo OKUBO, Yasuyuki KATUMURA. (Laboratory of Agricultural Chemicals, Kyoto University) Received Nov. 22, 1949. *Botyu-Kagaku* 14: 10—19 (with English résumé p. 18—19)

2. BHC 各異性体のアルカリに依る脱塩酸反応に就て. I (ポーラログラフ法に依る農薬の研究 IV)⁽¹⁾ 中島稔, 大久保達雄, 勝村安行, (京都大学農薬化学研究室) 24. 11. 22 受付

BHC 異性体中で β 体以外は何れもアルカリに対して不安定であつて容易に 3 分子の塩酸を脱離して Trichlorobenzene 就中 1, 2, 4-Trichlorobenzene になることは已に 1912 年に van der Linden⁽²⁾ 最近 Gunther⁽³⁾ に依り詳細に研究された。又 Kauer,⁽⁴⁾ La Clair⁽⁵⁾ も BHC 各異性体の脱塩酸反応速度の研究を行い α 体が最も分解し易く δ , γ , ϵ の順に安定となり β 体が最も安定である事を報告しこの分解速度の差を利用して γ 体の定量を行つた。更に J. Cristol⁽⁶⁾ は脱塩酸反応論の研究を行いその報告中に次の様に述べて居る。

BHC 各異性体はアルカリに依り次式に従つて脱塩酸反応が起る。



BHC 各異性体に就てその生成する塩酸を Volhard 法で定量する事によりこの反応速度係数 k を求めると k_1 は α 及 γ 体に比して δ 体が極めて早く β 体は殆んど反応しなかつた。従つて α 及 γ 体の脱塩酸反応速度は (1) 式の反応に左右され (即ち (1) 式が Rate-determining step) 1 分子の塩酸が脱離すると直ちに 2 分子の塩酸の脱離が起るが δ 体は之れとは異なり第 2 の塩酸が脱離する (2) 式が Rate-determining step でありこの推論が正しければ δ 体からは Pentachlorocyclohexene ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}_5$) が中間物質として單離出来るであらうと考えた。

私達は前報⁽¹⁾ に於てポーラログラフ法に依る γ -BHC の定量の研究の際 BHC 各異性体の Dioxane 溶液を種々の pH の緩衝液中でポーログラムを撮る