

ポリエステル樹脂 - 各種充填剤系懸濁液の粘度

The Viscosity of Suspensions of Unsaturated Polyester Resin and Various Fillers Systems

阿 保 雅 宏*

Masahiro Abo

内 容 梗 概

ポリエステル樹脂に各種充填剤を添加した場合の流動特性を調べ、特に炭酸カルシウム系充填剤については製造条件の異なる数品種を選び、その一般特性が流動性に及ぼす諸因子について考察を加えた。

まず、炭酸カルシウムポリエステル樹脂懸濁液の粘度に Robinson の式を適用して、この式がこのような系に対してもよくあてはまることを認めた。また式中の二定数 K と S' (K は摩擦係数に類似する定数、 S' は固体粒子 1 cm^3 の有効容積で比沈降容積とほぼ一致する値) がほぼ比例関係にあることから、この式がかねてより高分子溶液に対して提出されている Fikentscher, Mark, 桜田の式と同型になることを指摘した。つぎに、遠心力場下における比沈降容積 S'_{cent} と粘度測定から得られる S がよく比例していることを知り、これらの値の空気中の比沈降容積 S'_{air} に対する比の大小から充填剤の樹脂液に対する濡れやすさを論じた。さらに S' および S'_{cent} から理論的吸樹脂量の計算を試み実測値と比較した。最後に、実用的見地から注型用に適した充填剤を選ぶときの二、三の条件について付言した。

[I] 緒 言

不飽和ポリエステル樹脂に安価な無機質充填剤を併用すると、その経済性を高め、作業性そのほかの点でいろいろ有利であり、新しい応用分野の開拓に寄与しうることがすでに多くの解説書に述べられているところであるが、それだけに充填剤が樹脂の諸特性に及ぼす影響をよくきわめ、巧みな充填剤の選択を行うことがいつそう必要となる。

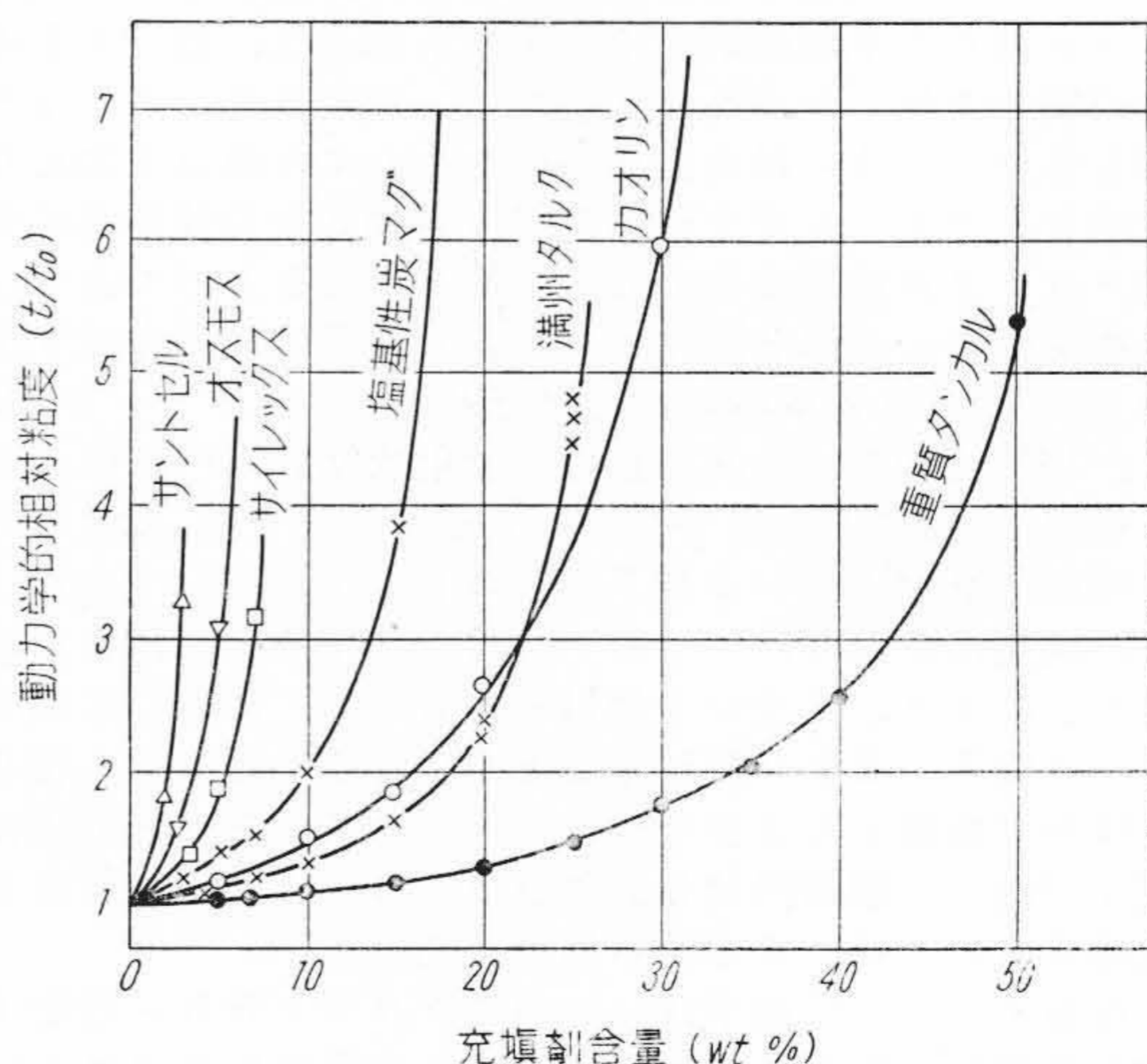
特にポリエステルに充填剤を加えた時の粘度特性は、その用途によつて要求特性が異なり、その選択の適否が、作業性や製品のできばえを決定するといつても過言ではない。たとえば注型用には、均一な製品を得るために、吸樹脂量が少なく流れがすぐれ、かつ樹脂液に対して濡れやすく、成型中に沈降しない充填剤が必要である。また、ライニングや塗料用パテの場合には、適度のチクソトロピーを与え、ヘラさばきがよいことが重要であるが、同時に硬化後の研磨性、密着性などの要求をも満たすことが必要であり、これも充填剤選択のいかに左右される。さらに、ポリエステル塗料やサーフェーサーなどでは、コンパウンディング後、長期保存しなければならないので、充填剤の堅い沈澱層の生成を防ぐために若干のチクソトロピーを与える必要があらう。

これらの特性を完全に把握するには、もちろん長年月を要するが、本報ではその第一歩として、ポリエステルに各種充填剤を加えた場合の流動特性を知り、その中でも特にポリエステル用充填剤として推奨されている炭酸カルシウム系充填剤については、内外から試料を求め、その一般的性状がその流動特性に及ぼす諸因子について

考察を加えた。

[II] 実 験 方 法

ポリエステル樹脂は硬質積層用「ポリセット 51」(前報⁽¹⁾では PS-51 と記載。酸価=11, 粘度(25°C)=5.60 ポイズ, 比重 $d_4^{25}=1.164$) を用い、充填剤は第 1 図、第 1 表に示したものをそれぞれ 105°C で 4~5 時間乾燥、室温に冷却した後使用した。粘度測定用試料を調製するときには、樹脂中のスチレンの揮発と気泡の包含、粒子の沈降をできるだけ防止するよう努めた。まず樹脂 30 g に充填剤を各重量%配合し、ガラス製乳鉢で、できるだけ手早く 3 分間攪拌し均一分散させた後、時計皿でふたをして 30 分間静置する。このうち 10cc をピ



第 1 図 “ポリセット 51”-各種充填剤系の粘度

* 日立製作所日立絶縁物工場

ペットで採取して25°C恒温槽にセットしたオストワルド粘度計に注入し、20分放置後その粘度を測定した。樹脂液は Vand 氏⁽⁸⁾ や Robinson 氏⁽¹⁴⁾ が用いたものよりかなり高粘度であり、粒子径もより小さいので測定中の沈降はほとんど無視できると考えられる。用いたオストワルド粘度計の内径はやや太く作つてあり、281.9 センチストークスのシリコン油の流下秒数が41.0 秒であつた。

第1表 各種炭酸カルシウム充填剤の一般特性

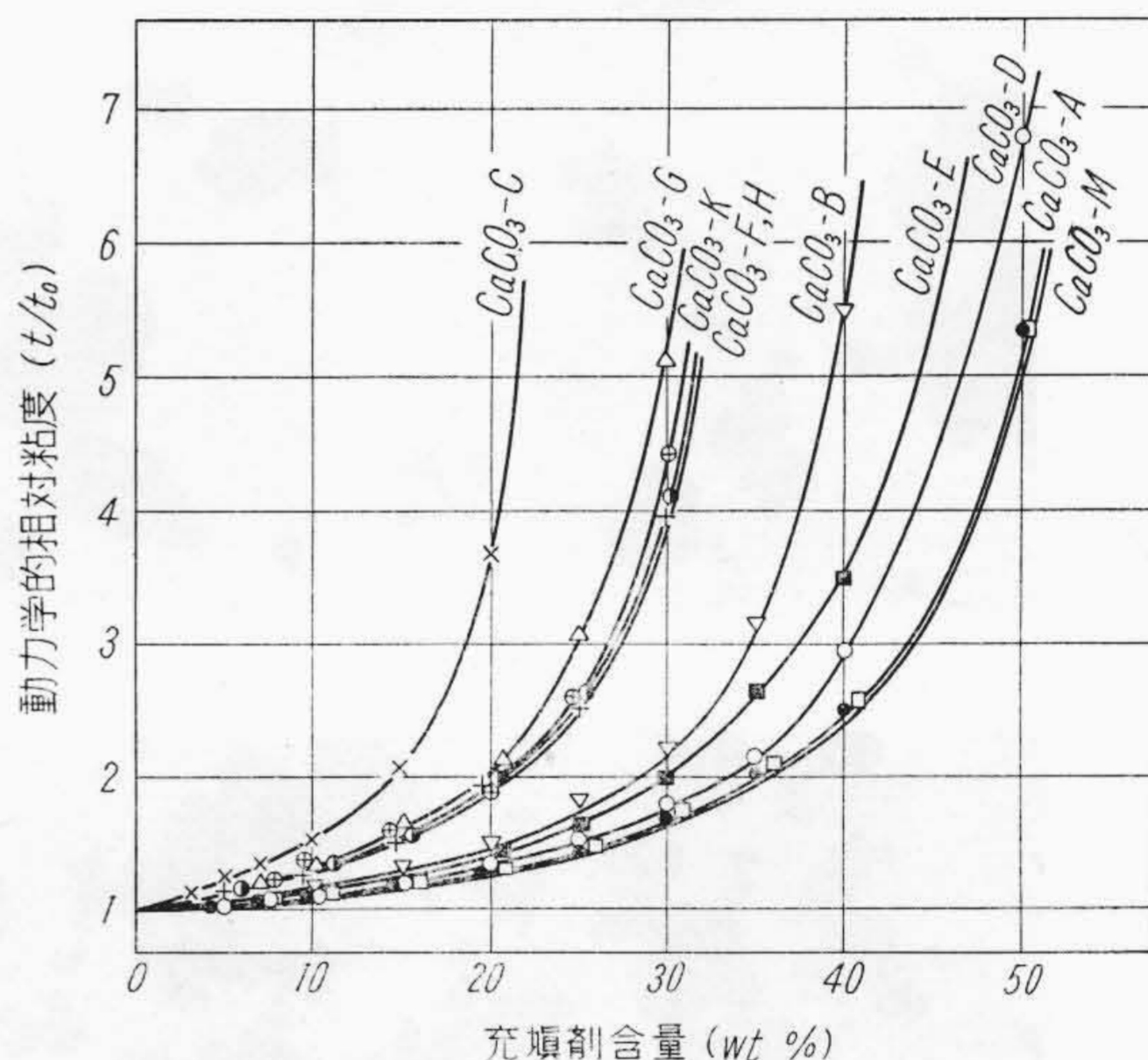
試料略号	平均粒径 (μ)	粒子形状	比重 (d_{40}^{25})	見掛比容 (cc/gr)	備 考
CaCO ₃ -A	1.0 (0.1~5.0)	不定形	2.73	0.97	A社製 重質
CaCO ₃ -B	0.6 (0.1~3.5)	不定形~紡錘形	2.615	1.01	A社製 軽質
CaCO ₃ -C	0.8 (0.1~3.3)	紡錘形	2.684	1.75	A社製 軽質
CaCO ₃ -D	0.3 (0.1~2.5)	不定形	2.744	0.92	B社製
CaCO ₃ -E	0.25 (0.1~2.5)	不定形	2.650	1.19	B社製
CaCO ₃ -F	0.05 (0.02~0.1)	粒 状	2.688	1.48	A社製
CaCO ₃ -G	0.03(0.01~0.07)	粒 状	2.593	1.33	いずれもA社製 白色,浮水性あり } 表面処理超 界面活性剤処理 } 微粒子活性 炭酸カルシウム 米耳 (Diamond Alkali Co.) 製, 1% レジン処理
CaCO ₃ -H	0.03(0.01~0.07)	粒 状	2.591	1.25	
CaCO ₃ -K	0.03(0.01~0.07)	粒 状	2.603	1.31	
CaCO ₃ -M	0.6 (0.1~3.0)	不定形	2.651	0.94	

注: 1 平均粒径は電子顕微鏡写真により 500 個以上の粒子について求めた算術平均径である。
() 内は 95% の粒子数が占める粒径範囲を示す。一般に定方向径を測定したが CaCO₃-B, C は長軸径を求めた。短軸径はその1/3~1/5程度である。
2 比重はトルエンを補助液としてピクノメータで測定した。
3 見掛比容は乾燥試料 5g を 16mmφ の円筒ガラス管に入れ約 10cm 上から 300 回落下させた時の充填容積から求めた 1g の容積。

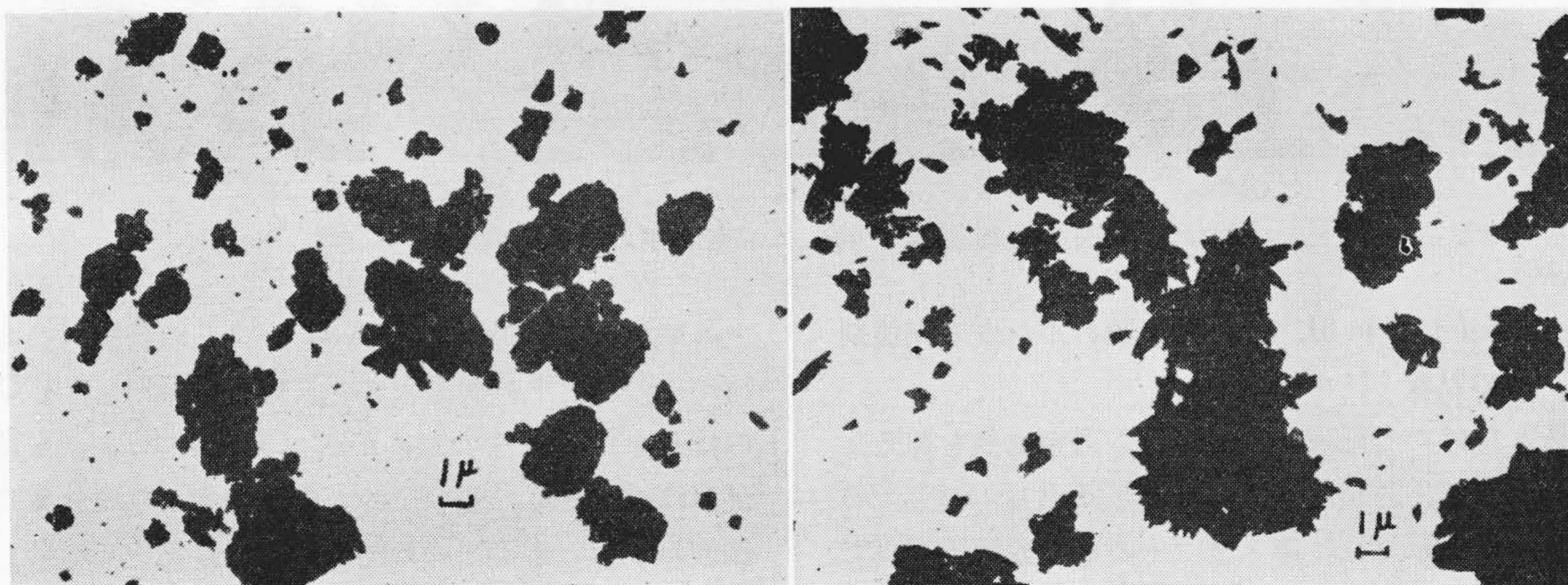
〔III〕 実験結果とその考察

(1) “ポリセット 51”-各種充填剤系の粘度

第1図にレジン流下秒数 t_0 と充填剤添加時の流下秒数 t との比, すなわち動学的相対粘度 (t/t_0) と充填剤含量 (wt%) の関係を示した。サントセル, サイレックスのようなシリカ系微粉末, オスモスのようなカオリン系微粉末は粘度上昇率が大きく 5~10% で上記の粘度計では測定不能となる。満州タルクも 30% 以上では測定不能で, 20% 以上では若干のいわゆる “Stress Softening” の現象を呈する。これらの充填剤は増粘剤として樹脂の流れをとめるのに適し, ライニングそのほかの用途に用いられる。重質タンカルは最も粘度上昇率が少なく増粘剤としては最も有効で, 炭酸カルシウム系充填剤がポリエステル用として広く推奨される理由の一つである。



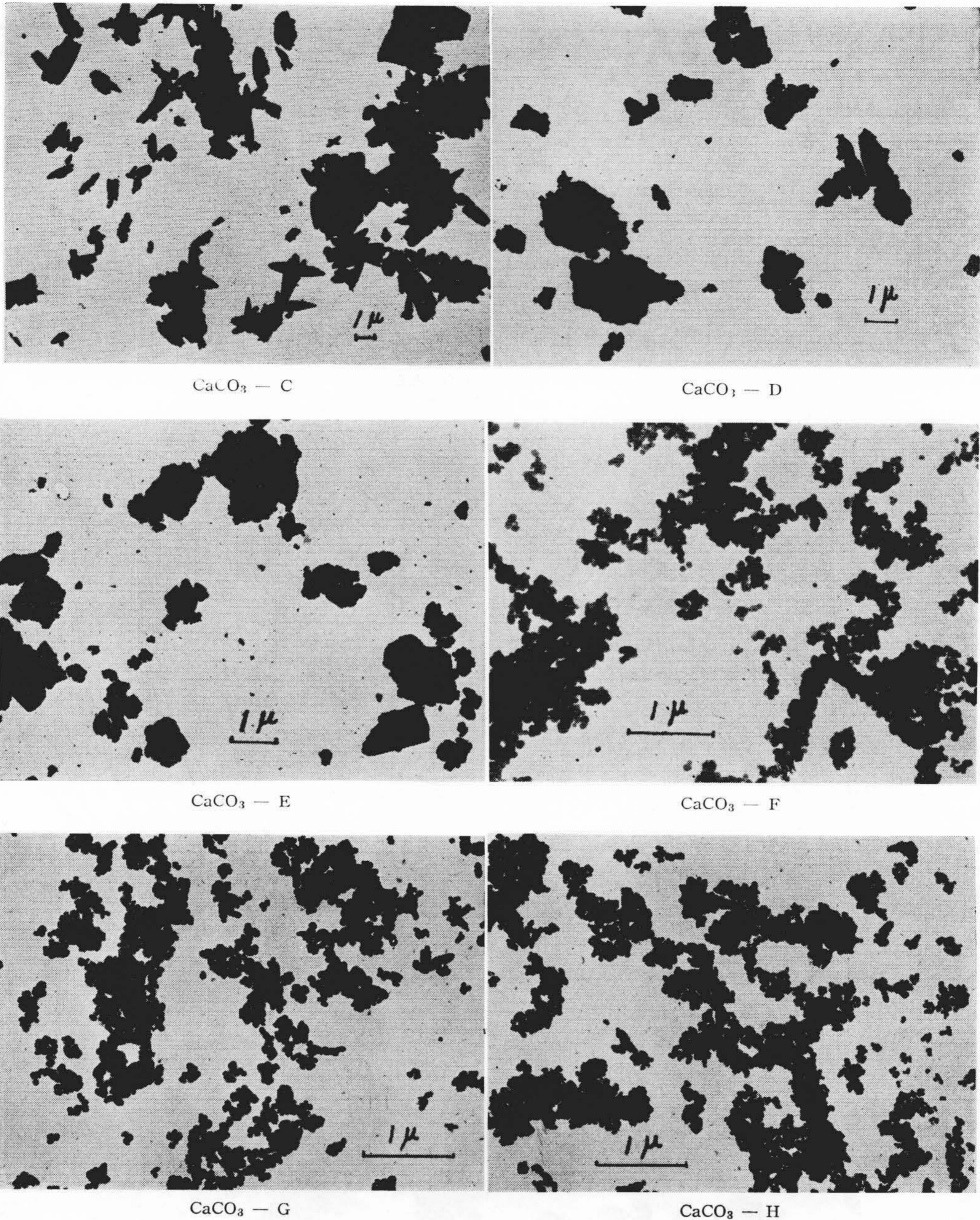
第2図 “ポリセット 51”-各種炭酸カルシウム充填剤系の粘度



CaCO₃ - A

CaCO₃ - B

第3-A 図 各種炭酸カルシウム充填剤の電子顕微鏡写真



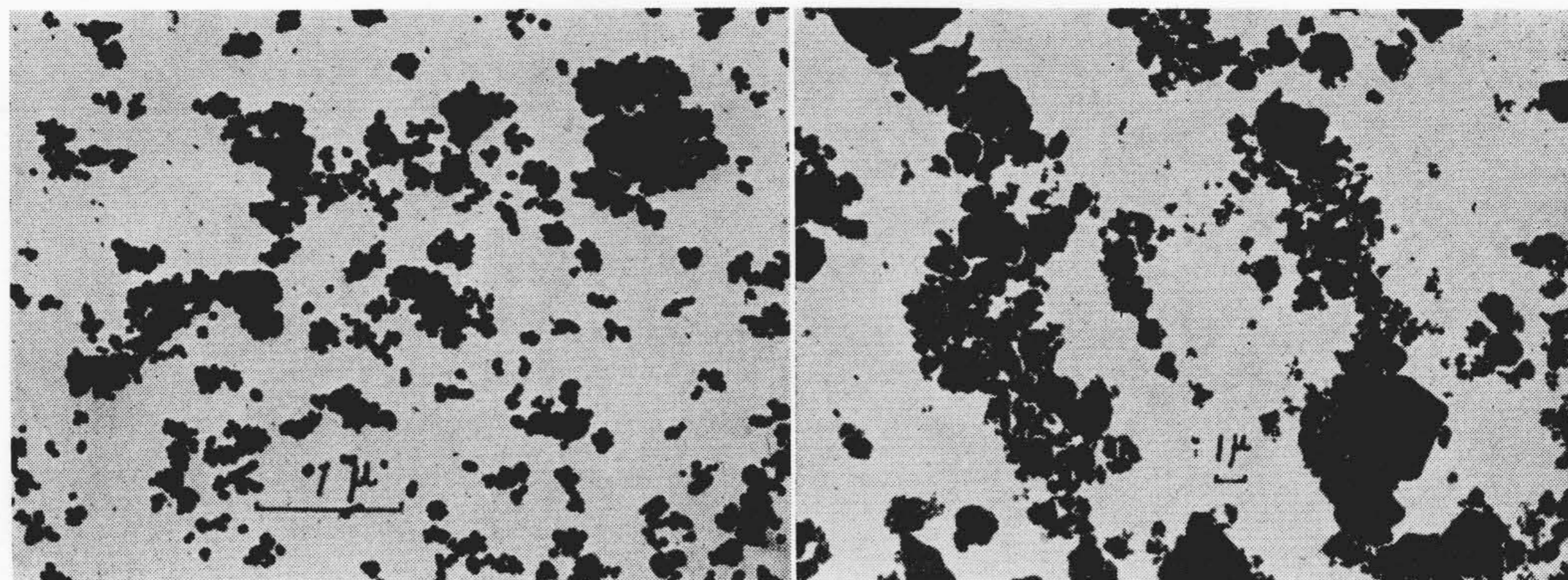
第3-B図 各種炭酸カルシウム充填剤の電子顕微鏡写真

(2) “ポリセット 51” - 各種炭酸カルシウム充填剤系の粘度

第1表に掲げた各種炭酸カルシウム系充填剤を加えたときの動力的相対粘度 (t/t_0) と充填剤含量 (wt%) の関係を第2図に示した。第3図はその電子顕微鏡写真である。このように炭酸カルシウムといつても、その製造条件によつて粒度およびその分布や形状が多様であり⁽²⁾ それに応じて粘度上昇率も著しく相違する。概して、CaCO₃-F, G, H, K のように平均粒径の小さいものは粘度

上昇率が高いが、CaCO₃-C のように紡錘状のものは特にその粘度上昇率が高い。CaCO₃-B も若干C類似の粒子を含み、そのためか CaCO₃-D, E よりも粘度上昇率は大である。そのほか表面処理剤、粒度分布の影響が加わっているように考えられる。

以上の結果は実用的な樹脂液の流動性を示す最も手近かなデータであるが、これをいまま少し進めて懸濁液粘度に及ぼす要因を明確にするために、これまでに提出された種々の理論式を検討してみた。



CaCO₃ - K CaCO₃ - M
第3-C 図 各種炭酸カルシウム充填剤の電子顕微鏡写真

(3) 固体粒子懸濁液の粘度式

懸濁液の粘度に関する研究は非常に古く、粒子濃度 C (g/ 溶媒 1cc) と懸濁液の粘度 η との間には、いわゆる Arrhenius 氏の式⁽³⁾ がある。

$$\eta = \eta_0 e^{Kc} \dots\dots\dots(1)$$

η_0 : 分散媒の粘度
 K : 分散粒子, 分散媒, 温度によつて決まる定数

のちになつて, Weltmann 氏, Green 氏ら⁽⁴⁾ は高濃度溶液に対しては (1) 式はあてはまらず, これを変形した (2) 式が成立することを知つた。

$$U = (\eta_0 + A) e^{BV} \dots\dots\dots(2)$$

U : 塑性粘度 (Plastic Viscosity)
 V : 粒子の容積分率
 A, B : 顔料固有の定数

しかし, これらはいずれも物理的意味のあいまいな定数を含んでいる嫌いがある。

最初の理論式はいうまでもなく剛性球の稀薄溶液に対して成立する Einstein 氏の式⁽⁵⁾ であり, 剛性球では水

$$\frac{(\eta - \eta_0)}{\eta_0} = \eta_{sp} = KV \dots\dots\dots(3)$$

η_{sp} : 比粘度

力学的計算から $K=2.5$ となり, これは実験的にも証明されている⁽⁶⁾。また, 一般に細長い粒子では $K > 2.5$ であり, 軟質の球状粒子では $K < 2.5$ である。

この式を粒子相互作用のおこる高濃度溶液に拡張して Guth 氏, Simha 氏ら⁽⁷⁾ は

$$\eta_{sp} = 2.5V + 14.1V^2 \dots\dots\dots(4)$$

を与え, Vand 氏⁽⁸⁾ はさらに

$$\ln \eta_r = \frac{K_1 V + r_2 (K_2 - K_1) V^2 + \dots}{1 - QV} \dots\dots(5)$$

η_r : 相対粘度 η/η_0
 K_1 : 単独球体の Einstein 形状因子

K_2 : 衝突2球体の形状因子

r_2 : 衝突時間定数

Q : 水力学的相互作用定数

を導いた。また相互間力がなく, ブラウン運動を行わない非溶媒和性の剛性球体に対しては理論的に定数が計算できて

$$\eta_{sp} = 2.5V + 7.35V^2 \dots\dots\dots(6)$$

となる。この式は 30 容積%まで実験値と一致するといわれる。しかしこの式は粒径, 粒度分布, 非ニュートン流体に起る粒子間力は考慮に入れていない。

最近になつて Roscoe 氏⁽⁹⁾, Oliver 氏および Ward 氏⁽¹⁰⁾, Simha 氏⁽¹¹⁾ は粒度分布を変数として取り扱つた理論式を導いたが, 50 容積%またはそれ以上の濃度にも成立し比較的簡単なのは Mooney の式⁽¹²⁾ である。

$$\ln \eta_r = 2.5 \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{1 - \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} V_j} \dots\dots\dots(7)$$

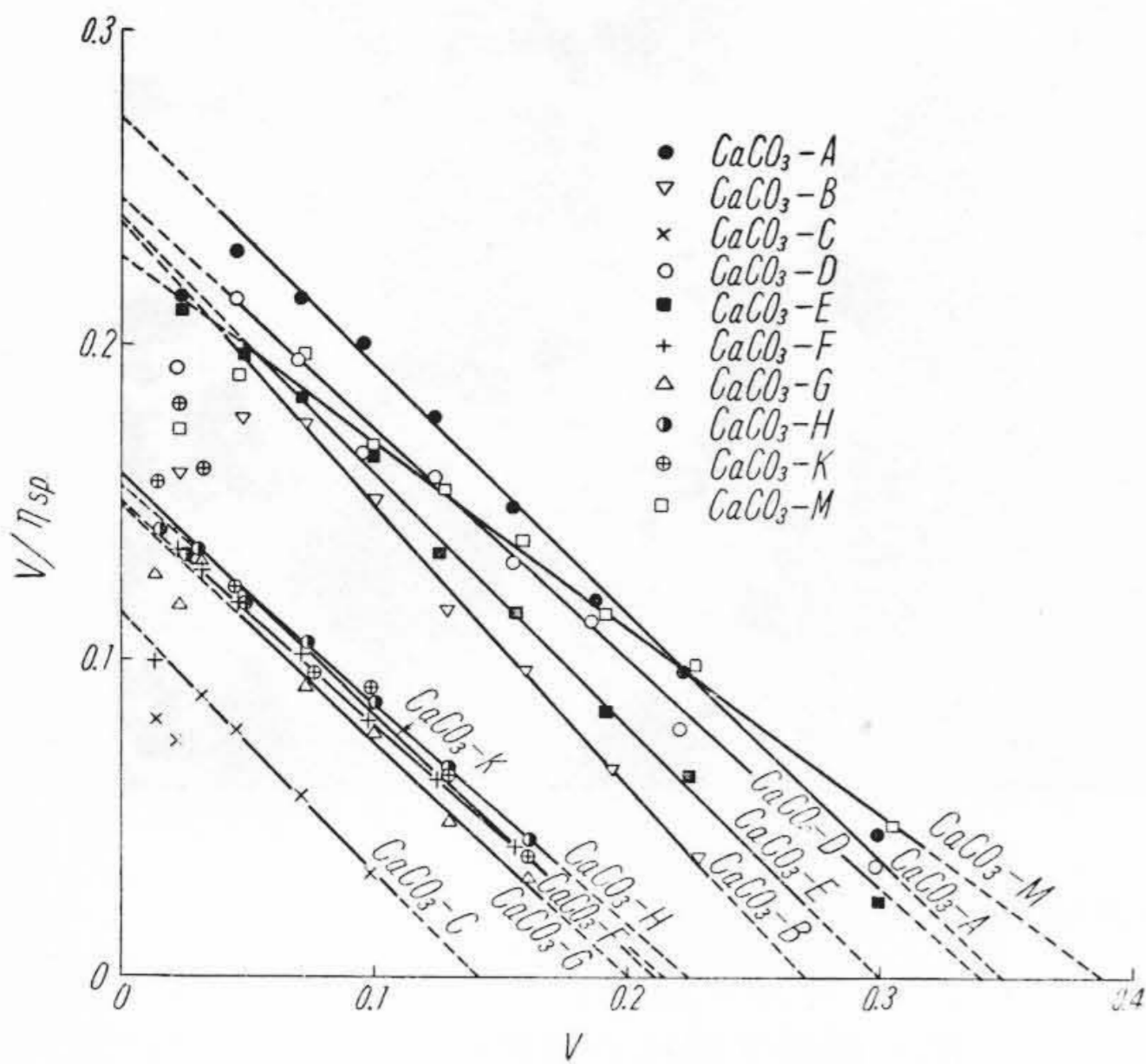
V_i : i 番目の粒子の容積分率

分母の 1 から差引く項は, 同一または異なつた粒径の粒子間の凝集と水力学的相互作用を考えたものである。この式は粒径, 粒度分布の変化, 非ニュートン流体およびチクソトロピーに対応する粒子間力を含めたものとして Sweeney 氏と Geckler 氏ら⁽¹³⁾ によりガラス球懸濁液の実験結果に適用されている。

一方, Robinson 氏⁽¹⁴⁾ は高濃度溶液の比粘度は固体粒子の容積濃度に比例すると同時に, 粒子が高度に凝集したときには内部に包含される液体は流動に寄与しないから, それを除いた自由液体の容積に逆比例するという考えに基づいて

$$\eta_{sp} = \frac{KV}{1 - S'V} \dots\dots\dots(8)$$

を提出した。ここで K は摩擦係数に類似する定数で粒子の粗さ, 形状, 粒子周囲の吸着液層のあるなしによつて



第4図 “ポリセット51”-各種炭酸カルシウム充填剤系懸濁液の V/η_{sp} と V の関係

影響される。 S' は単位容積のガラス球が占める有効容積で、粒子がその懸濁液中で緊密に凝集沈積した場合、もはや流動性はないので、結局粒子 1cm^3 が占める比沈降容積 (cc/cm^3) と考えることができる。

この定数は粒子の凝集状態、溶媒吸着、剪断力などによって影響される。(8)式を変形すれば、

$$\frac{V}{\eta_{sp}} = \frac{1}{K}(1 - S'V) \dots\dots\dots(9)$$

となり、 S' と K が一定なら V/η_{sp} と V の間には直線関係が成立し、各座標軸の交点はそれぞれ $\frac{1}{K}$ および $\frac{1}{S'}$ に等しい。

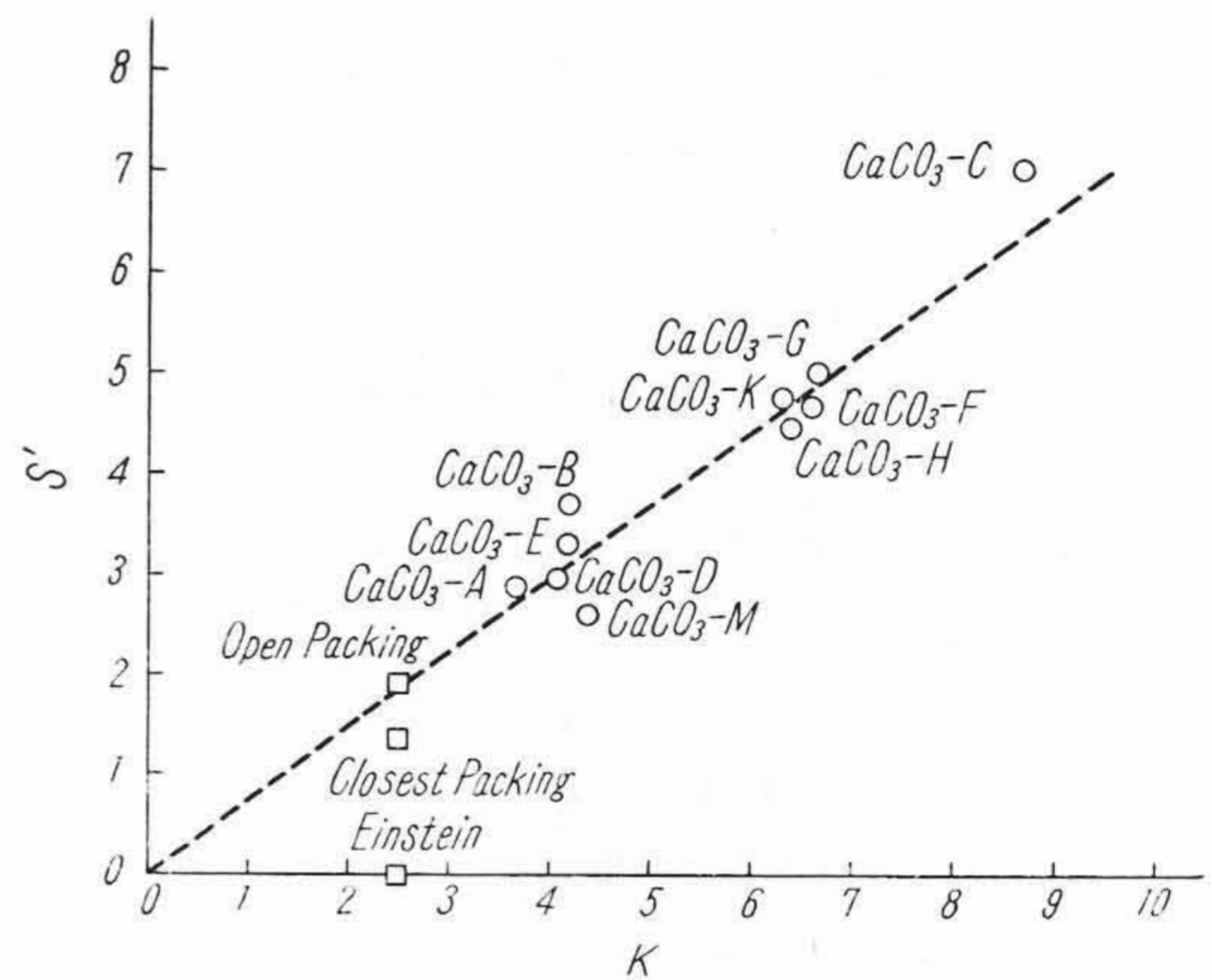
(4) 実験結果への粘度式の適用

この実験に用いた充填剤は、いうまでもなく均一な球状粒子ではなく、工業的製法による相当幅広い粒度分布をもつた不定形ないしは粒状、紡錘状の粒子であり、剛性球の高濃度溶液に対する Guth 氏、Simha 氏らの式(4)、Vand 氏の式(6)および Mooney 氏の式(7)は適用できない。しかるに、Robinson 氏の式(8)、(9)は、実験的にはガラス剛性球の懸濁液に対して証明されているにすぎないが、式中の定数である比沈降容積 S' は粉体工学で広く用いられている“見掛け比容”や“沈降比容積”などに対応している。この値はここで取扱つたような不均一な形状と分布をもつた粒子系についても実測可能な値であり、理論的にはあまり複雑すぎて解析しにくい種々の因子を含む定数を簡単に実測値で裏付けできる可能性がある点興味深い。以上の見地から、実験結果に(8)、(9)式を適用し、その適用性および S' そのほかの諸定数間の関係を吟味してみた。

第2図の実験結果を(9)式に適用すると、第4図の

第2表 各種炭酸カルシウム充填剤の K と比沈降容積および吸樹脂量

種類	K	比沈降容積 (cc/cm^3)			吸樹脂量 ($\text{g}/100\text{g}$ 充填剤)		実測値
		S'	S'_{cent}	S'_{air}	$\frac{100(S'-1)d_l}{d_s}$	$\frac{100(S'_{\text{cent}}-1)d_l}{d_s}$	
CaCO ₃ -A	3.69	2.88	1.94	2.65	80	40	38
CaCO ₃ -B	4.20	3.70	2.69	2.64	120	75	71
CaCO ₃ -C	8.70	7.03	4.71	4.70	262	161	117
CaCO ₃ -D	4.08	2.95	2.28	2.52	83	54	40
CaCO ₃ -E	4.17	3.33	2.10	3.19	101	48	46
CaCO ₃ -F	6.62	4.68	3.63	3.98	159	134	83
CaCO ₃ -G	6.67	5.00	3.48	3.53	179	111	76
CaCO ₃ -H	6.41	4.46	3.24	3.24	155	101	82
CaCO ₃ -K	6.33	4.75	3.41	3.41	168	108	64
CaCO ₃ -M	4.39	2.58	1.80	2.49	69	35	29



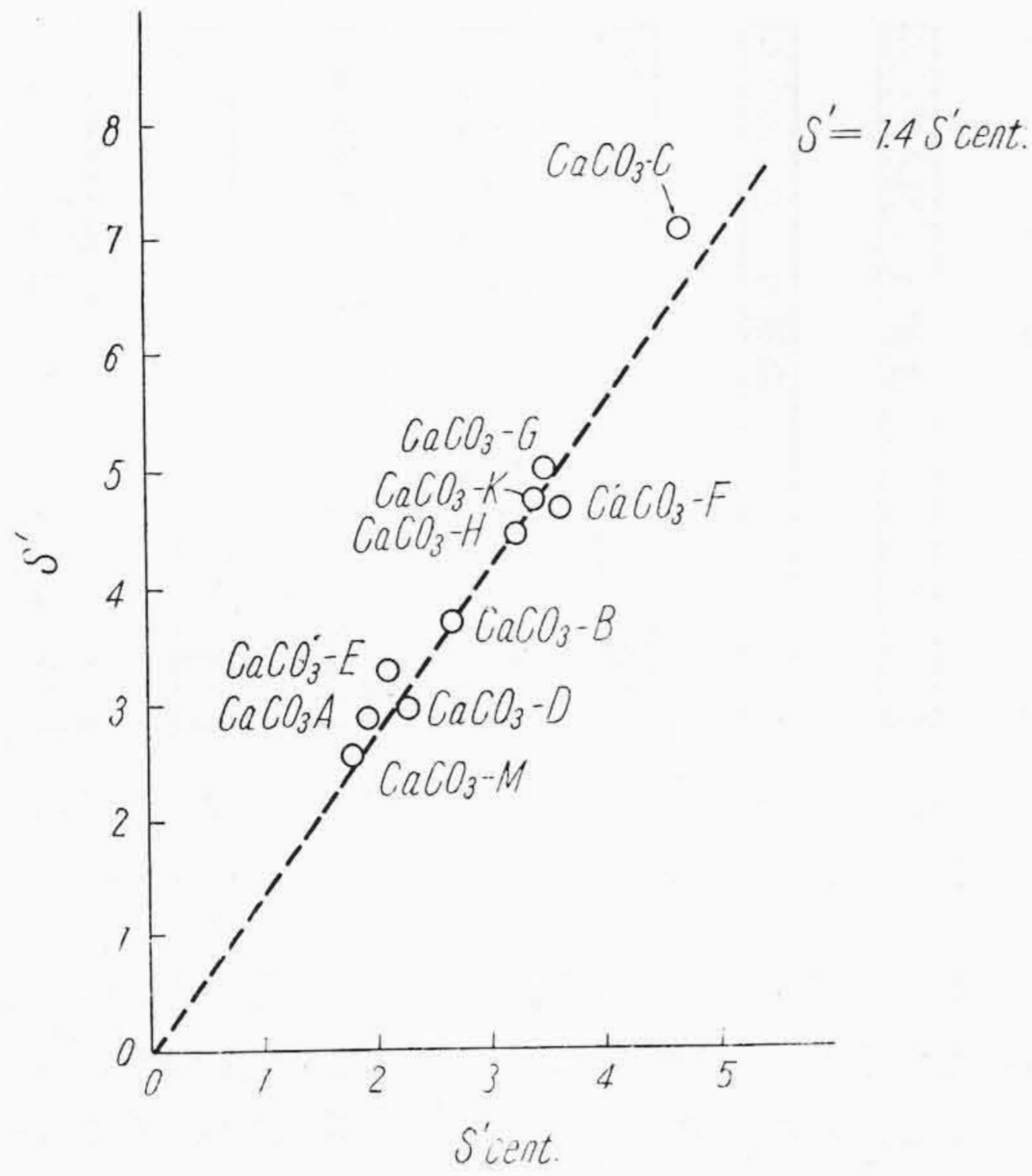
第5図 S' と K の関係

ようになる。ここで容積分率 V は、充填剤の密度 d_s 、ポリエステル樹脂の密度 d_l 、充填剤含量 $x\text{ wt } \%$ から次式によって計算した。

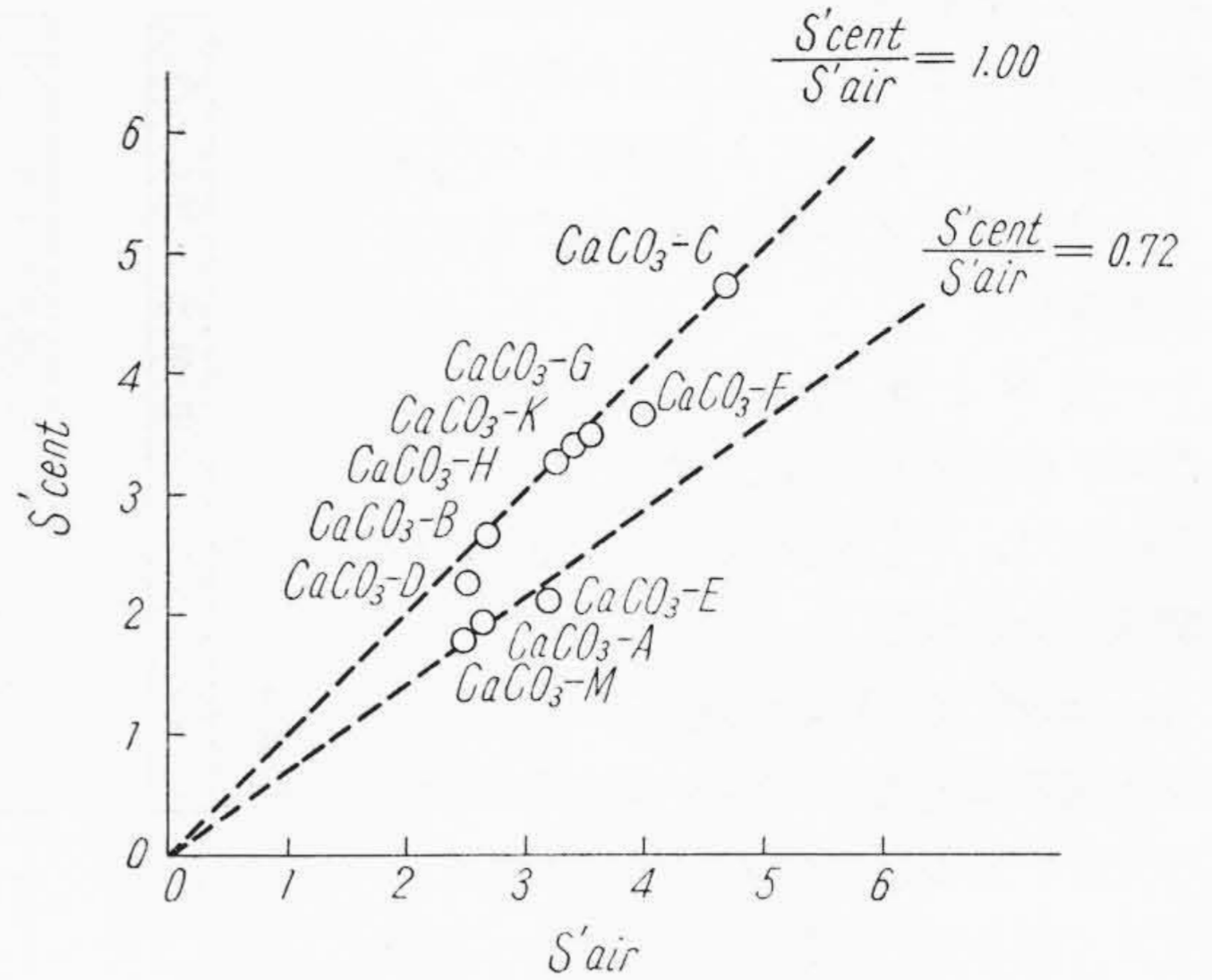
$$\frac{1}{V} = \left(\frac{1-x}{x}\right)\left(\frac{d_s}{d_l}\right) + 1 \dots\dots\dots(10)$$

この図からわかるように、測定した濃度範囲では V/η_{sp} と V の間にほぼ直線関係が成立する。このようにならかなり不均一と思われる工業用充填剤の懸濁液についても(9)式が成立することは興味深い事実であり、この測定濃度範囲では粒子凝集の程度が類似していると考えられる。ただし、 $V < 0.05$ 以下の低濃度では $(\eta - \eta_0)$ のわずかな実験誤差が非常に大きく響くため η_{sp} が変動し直線から偏異しやすい。

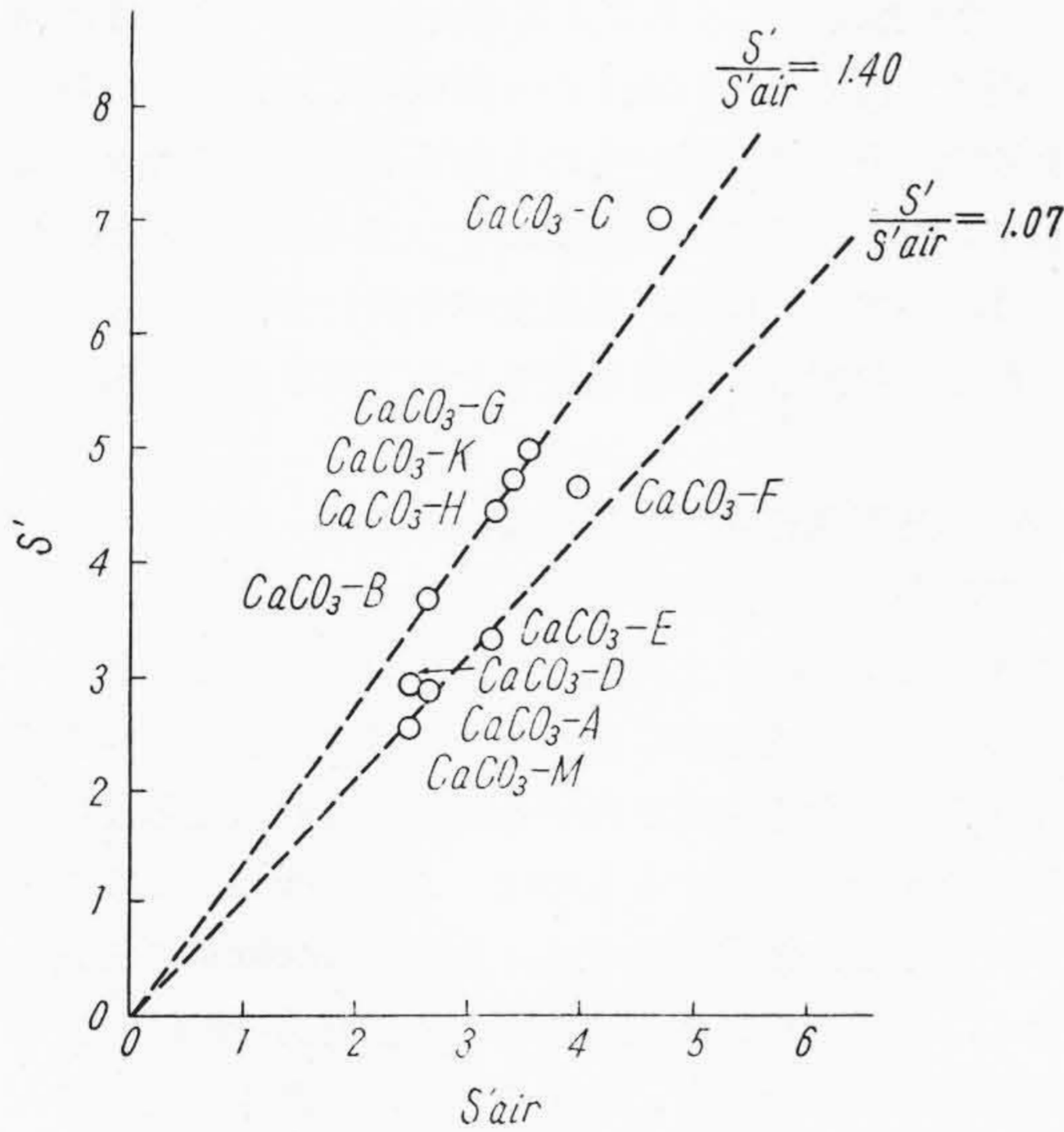
第4図の各軸の截片から求めた定数 K および S を第2表、第2、3欄に示した。この K と S は第5図のような関係にあり、お互に比例すると考えられる。それゆえ $K = aS'$ とおき(8)式に代入すると、この式はかねてよ



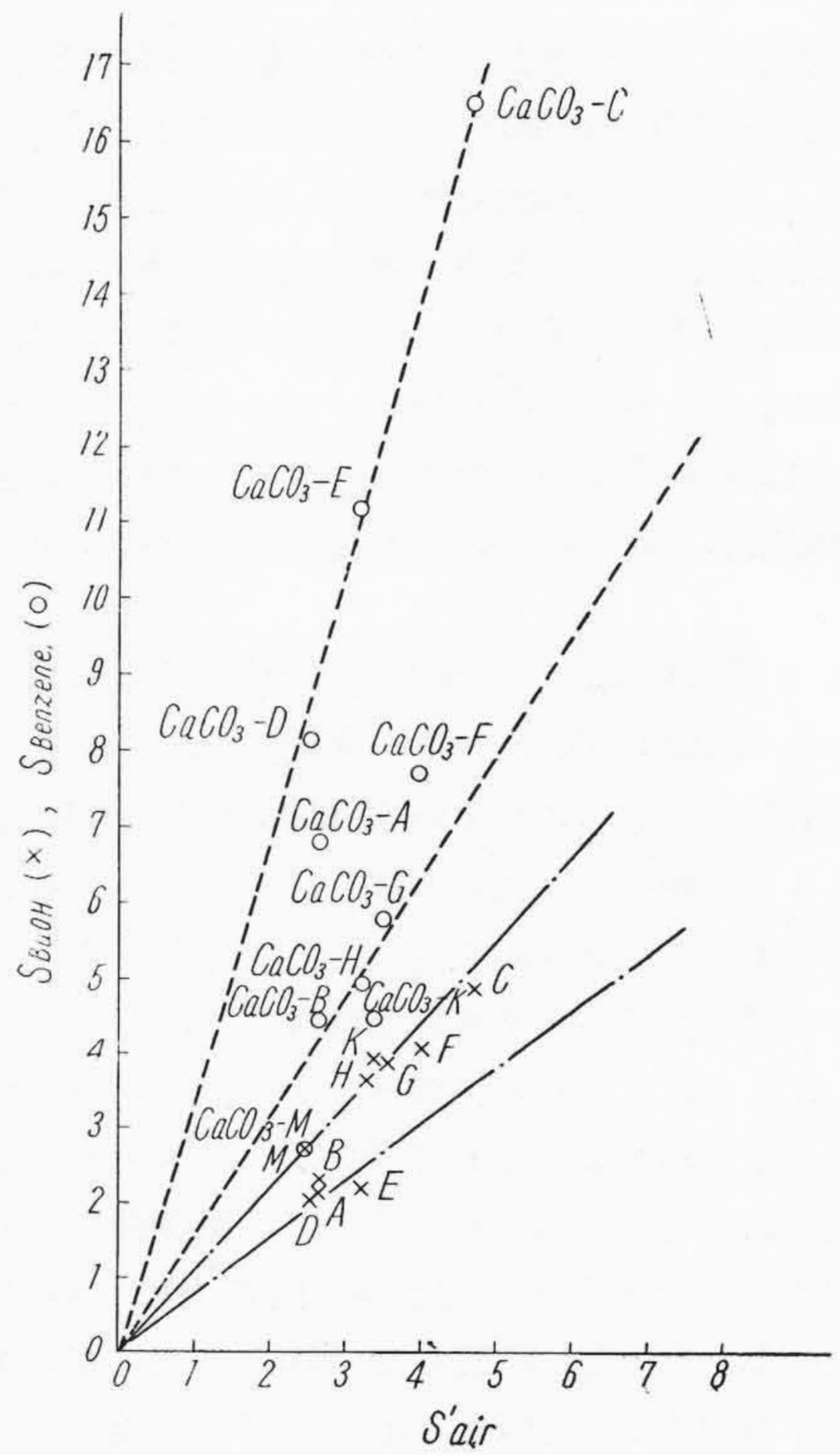
第6図 S' と S' air の関係



第8図 S' cent, と S' air の関係



第7図 S' と S' cent の関係



第9図 S BuOH, S Benzene, と S' air の関係

り高分子溶液に対して提出されている Fikentscher 氏, Mark 氏ら⁽¹⁵⁾ および桜田氏の式⁽¹⁶⁾ と同型になり, η_{sp} は有効容積 $S'V$ に比例すると考えることができる。また K と S' の間にこのような比例関係が成立するという事は, これらの系列摩擦係数が類似していることを物語っているであろう。なお第5図には Einstein 氏の式が示す $S'=0, K=2.5$ の点, および同一剛性球体が最密充填した場合(気孔率 0.2535⁽¹⁷⁾)に相当する $S'=1.35, K=2.5$ の点, 立方型充填の場合(気孔率 0.476⁽¹⁷⁾)に相当する $S'=1.91, K=2.5$ の点も参考に記載した。

第2表 第4欄 S'cent は各充填剤のポリエステル樹脂 20 wt% 懸濁液を 14 mmφ の試験管に入れ, 重力場の約 800 倍の遠心力場下で約 15 時間沈降させた後に示す充填剤 1 cm³ が占める比沈降容積であり, 第5欄 S'air は第1表 第5欄の見掛け比容から換算した充填剤 1cm³ が空気中で占める比沈降容積である。

S' と S' cent の関係は第6図が示すように, ほぼ直線関係にあり $S' = 1.4 S' cent$ が成立する。この差は, 遠

心力場下と粘度測定条件下の充填応力の相違によるものと考えられるが、二つの値がこのようによく対応していることは (9) 式の妥当性を示すもので興味深い。

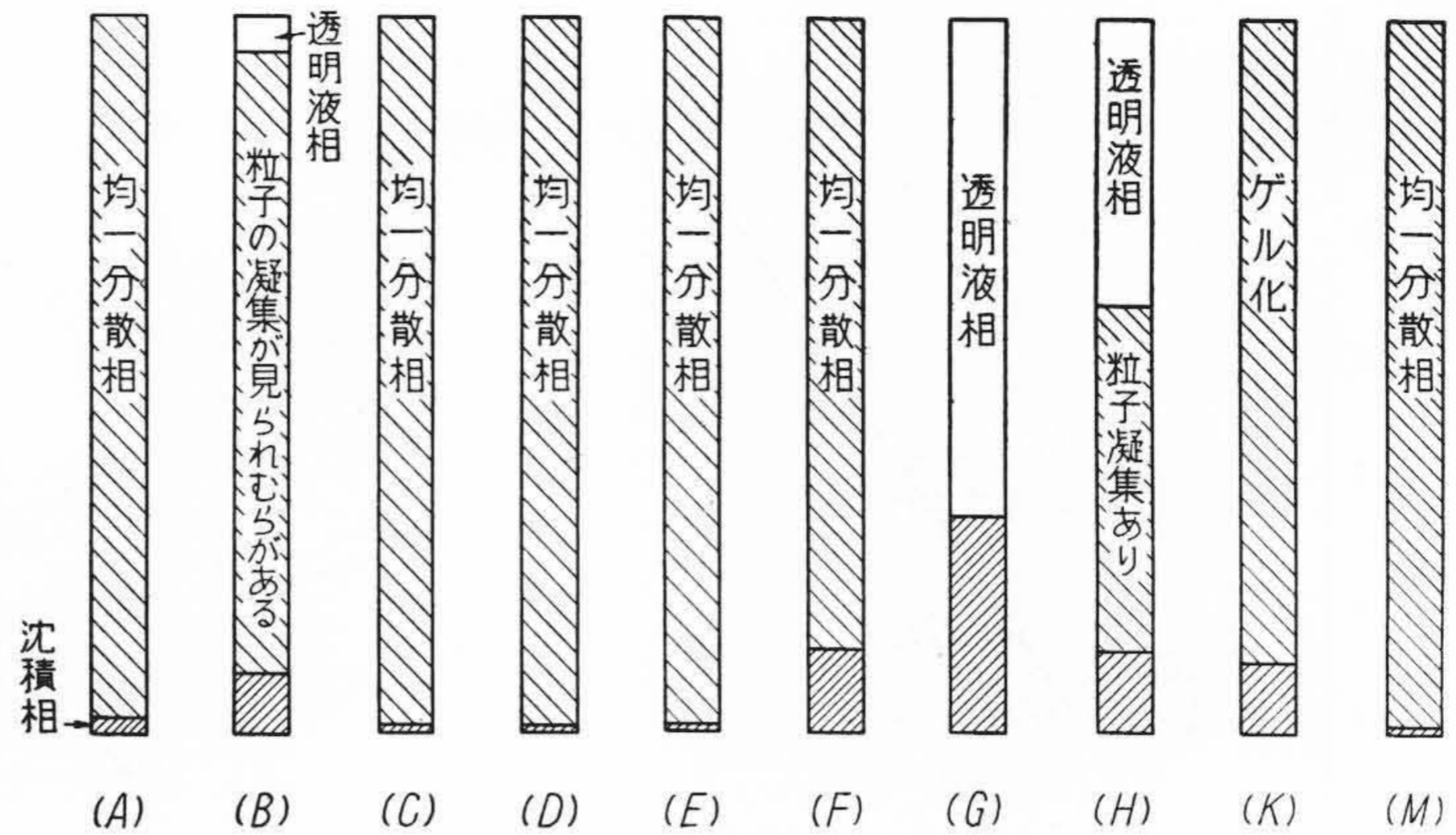
一方 S' と S'_{air} , および S'_{cent} と S'_{air} の関係を示すと 第 7, 8 図のようになり、その相関はほぼ二種の直線関係に分かれる。

Buzagh 氏, Adam 氏ら⁽¹⁸⁾は固体-液体間の凝着力 (Work of adhesion) の大きいものは固体表面が液体によつてよく濡らされ、粒子は互にすべりやすくなつて充填は緊密になり、沈降容積は小さくなるが、逆に凝着力が小さい場合には、粒子表面は液体によつてあまりよく濡らされないで、粒子は互に不規則にくつつきあつてゆるい網目または鎖状構造を形成し、その間隙に液体を抱きこんだ形となり、充填はゆるく、したがつて沈降容積は大きくなると述べている。この考え方によれば、 S'/S'_{air} あるいは S'_{cent}/S'_{air} が大きいものは粒子表面がポリエステル樹脂に濡れにくく、逆に小さいものは濡れやすいということになる。このことは充填剤を樹脂に混ぜたときに含まれる気泡成型樹脂の機械的、電気的性質とも関連して重要な問題であろう。

第 7, 8 図の結果は、いずれも $CaCO_3$ -M, A, E, それについて $CaCO_3$ -D, F などが比較的濡れやすく、ゴムの充填剤として賞用されている $CaCO_3$ -G, H, K などはポリエステル樹脂には比較的濡れにくいことを示している。このように、ゴム用充填剤として知られている活性タンカル類がポリエステル樹脂には濡れにくいという事実は、たとえばこれらの活性タンカル類が、ベンゼン中ではほかの充填剤より濡れやすいが、ブタノール中では比較的濡れにくい部類に属するという第 9 図の結果からも理解されるであろう。なお第 9 図の $S_{Benzene}$ および S_{BuOH} は、それぞれ精製した 30 cc のベンゼンおよびブタノール中で充填剤 3g が自然沈降した場合の、充填剤 $1cm^3$ が占める比沈降容積である。

(5) 沈降容積と吸樹脂量

S' は充填剤がポリエステル樹脂中で最密凝集したときに占める比沈降容積と考えられるので、このときに生ずる気孔が樹脂によつて占められると考えると、 $\frac{100(S'-1)d_p}{d_s}$ は充填剤 100g が最密充填した場合、気孔部に含まれる樹脂の重量となり、塗料関係でいわれている吸油量に対応する吸樹脂量を示すものと考えられる。その計算結果および実測値を第 2 表 第 6, 8 欄に示した。これからわかるように、実測値は計算値の約 $1/2$ 程度



第 10 図 ポリエステル樹脂中の充填剤沈降試験

の値しか示さず、また計算量の樹脂を加えた場合の状態は、そのほとんどがすでに若干の流動性をもっている。このことは、粘度測定から得られる S' はかなりゆるやかな充填様式に対応していると考えられると同時にこのような高濃度では充填様式が変化し、粘度測定範囲の S' と若干相違してくることも考えられる。第 7 欄は遠心力場下に占める S'_{cent} から同様にして求めた計算吸樹脂量で、実測値に近いものもあるが、概して大きい値を示す。思うに充填剤が樹脂によつて一つにまとまるためには、必ずしも樹脂が気孔全体を満たす必要はなく、隣接粒子間の接着に必要な量で十分であるためと考えられる。

(6) 注型用充填剤選択の条件

実際問題として注型用樹脂に添加する充填剤は、はじめに触れたように、上に述べてきた流動性がよいという条件のほかに、成型中に充填剤の沈降や樹脂の外観をそこなうような発泡を起さないものを選びねばならない。充填剤の沈降を支配するものは、ここで扱つたような微粒子の高粘度媒体分散系では、もはや Stokes の法則ではなく、粒子固相と樹脂液相間の分子間力、粒子間力、界面電気現象などであり、粒子の形状、大きさ、比重のみで判断することはできない。第 10 図は充填剤を 10 wt% 添加したポリエステル樹脂懸濁液の高さ 20 cm の液柱が、16 mmφ 目盛付試験管中で約 1 週間放置した後に示す沈降状況である。これは、たとえば同じ懸濁液を垂直に立てて加熱成型した樹脂板中の沈降状況とよく類似している。

また、発泡試験はシャーレ上で加熱硬化後の観察で判定すればよいが、このときシャーレに注入後しばらく放置して機械的に混入された気泡を除くよう注意すると、 $CaCO_3$ -G, H, K のように脂肪酸またはそれ類似の表面処理剤を用いたものは発泡する傾向がある。しかし、 $CaCO_3$ -M のようにポリエステル樹脂と濡れやすい樹脂

で処理したものは本質的な発泡を示さない。

概して、機械的製法によると考えられる不定形の充填剤は沈積も少なく、樹脂中に均一分散し、発泡も起らない。しかし、本質的に粗粒分の沈降をおさえ、樹脂と濡れやすく分散を均一高度にし、硬化樹脂の機械的、電気的特性に及ぼす影響を考慮すれば、 $\text{CaCO}_3\text{-M}$ のようにポリエステル樹脂に濡れやすくして発泡しない樹脂で表面処理を施す努力も必要であろう。

[IV] 結 言

以上、ポリエステル樹脂に各種充填剤を添加した場合の流動特性を調べ、その中でも特にポリエステル樹脂用として推奨されている炭酸カルシウム系充填剤については製造条件の異なる各品種を集め、その一般特性が流動特性に及ぼす諸因子について考察を加えた。その結果を総括すると。

(1) 炭酸カルシウム-ポリエステル樹脂懸濁液の粘度に Robinson 氏の式〔本文中(9)式〕を適用すると、 V/η_{sp} と V の間によく直線関係が成立し、このようになり不均一と思われる工業用充填剤の系に対しても広い適用性を持つことを認めた。また、式中の二定数 K と S' がほぼ比例関係にあることから、この式がかねてより高分子溶液に対して提出されている Fikentscher, Mark, 桜田氏らの式と同型になることを指摘した。

(2) 遠心力場下における比沈降容積 S' cent と粘度測定から求めた S' がよく比例していることを知り、これらの値の空気中の比沈降容積 S' air に対する比の大小から充填剤の樹脂液に対する濡れやすさを論じ、ゴムに適した活性タンカル類が、必ずしもポリエステルに適しているといえないことを示した。

(3) S' および S' cent から理論的吸樹脂量の計算を試みて実測値と比較した。

(4) 最後に実用的見地から注型用に適した充填剤を選ぶときの二、三の条件について付言した。

擲筆するにあたり終始御指導御鞭撻を賜った日立製作所日月、鶴田、河合、中牟田各博士をはじめ日立研究所、日立絶縁物工場の関係者および実験を分担していただいた大野貞男、山県とし、柴田さよ子の三君に厚く謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 阿保：日立評論, 37, 1673 (昭30-12)
- (2) 長谷川：強化プラスチック 2, No.4, 1(昭31-8)
- (3) Arrhenius, Svante: Z. Physik Chem, 1, 285 (1887)
- (4) R. N. Weltmann and H. Green: J. Applied Phys., 14, 569 (1943)
- (5) Einstein, A.: Ann. Physik., 19, 289 (1906)
- (6) Eirich, F., Bunzl, M., and Margaretha, H.: Kolloid Zeit, 74, 276 (1936)
- (7) Guth, E., and Simha, R.: Kolloid Zeit., 74, 226 (1936)
- (8) V. Vand: J. Phys. Chem., 52, 277 (1948)
- (9) R. Roscoe: Brit. J. Appl. Phys., 3, 267 (1952)
- (10) D. R. Oliver and S. G. Ward: Nature 171, 396 (1953)
- (11) R. Simha: J. Appl. Phys., 23, 1020 (1952)
- (12) M. Mooney: J. Colloid Sci., 6, 162 (1951)
- (13) K. H. Sweeny and R. D. Geckler: J. Appl. Phys. 25, 1135 (1954)
- (14) J. V. Robinson: J. Phys. Colloid Chem., 53, 1042 (1949)
- (15) H. Fikentscher and H. Mark: Kolloid Zeit., 49, 135 (1930)
- (16) 桜田：工化, 36, 1487 (1933)
- (17) Brown: Unit Operation P. 210~216 (1951)
- (18) 玉虫：工業物理化学 第4輯 P. 40 (1949), N. K. Adam., The Physics and Chemistry of Surfaces P. 201 (1938)
松村：工化 59, 325 (1956)