(7) a 系は, condenser 用及び電波プリズムとして利用し得られ、
c 系は, 電波吸収體となし得る。
本研究は日本學術振興會より研究費の補助を得た。又終始御懇切

なる御指導を賜りたる恩師東京工業大學教授工學博士近藤清治先生
並びに東京帝國大學教授理學博士西川正治先生に深甚なる謝意を表
する次第である。

Abstrakt

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN TITANVERBINDUNGEN (7)

Von Shin-ichi Suzuki

In diesem Bericht beschreibt der Verfasser den zweiten Methoden, welchen die Titanhaltigen Massen den hochwertigen Dielektrizitätskonstant ergibt, (1) durch der Dielektrizitätskonstant der Sinterrutil, oder (2) durch der zusammenwirkenden Dielektrizitätskonstant in den Titanats-Massen.

Die 48-artigen Massen werden mit Ammoniumsphosphat als Mineralisatoren hergestellt, und diesen Massen bei Kegel 10 und Kegel 12 verbrannte.

Für jeden Massen, ihre ϵ und $\tan \delta$ bei Hochfrequenz wurden gemessen. Ferner wurde die Einflüsse der Beimengungen und Brennstemperaturen.

(Versuchsanstalt für Baumaterial, Tokio Technische Hochschule)

セメントの細かさに關する研究(第1報)

中 條 金 兵 衛

この報文は著者が從來仕事のまにまに試みたセメントの細かさに就ての研究を蒐集して、結局セメントの表面積測定を最後の目的とする一つの體系をなす様に、次の目次の順序に従つて取纏めたものである。

目 次

I 緒 言

II セメントの粉末度測定法

III 風 篩 法

- (1) 風篩筒内粒子上昇機構
- (2) 粒子分離機構
- (3) 各種風篩裝置の比較
- (4) 新風篩器の試作
- (5) 風篩時間に因る誤差

IV セメント粒子及び粉末

- (1) セメント粒子の形狀
- (2) セメントの粒子分布狀態
- (3) セメントの比表面積

I 緒 言

セメントの物理的性質中その細かさ、即ち粉末度の最も重要たることは今更贅言を要しない。之に加ふるに近時セメント試験全般の精密化は、必然的に粉末度の精細な數字化を要求するに至つた。従つてこれに應ずべく幾多の測定裝置が考案、實用化され、その複雑繊細なるものさへも規格化せんとする機運にある。斯る狀態に呼應して粉末度測定の原理に關する探究と、セメント粒子、粉末の諸性質の究明が、こゝ十數年來幾多の人々によつて爲されて來たのである。

著者は既往に於ける諸家の文獻に照し未了未踏の分野の一部を開拓追究し、些か貢獻する所あらんとし試験研究を行つた結果を敘述し大方の叱正を乞ふ次第である。

尙、今回の報告に於てはセメント粉末に就てのみの研究を述べるに止めるが、この研究方法は他の物質よりなる粒子、粉末に關しても應用されるものであり、研究結果も異種物質の粉末に就て、セメントの場合と同様の事實の成立することに關して、他の機會に述べる積りである。

II セメントの粉末度測定法

セメントの粉末度測定法は、その基礎とする原理によつて、次の如く分類することが出来る。

- (1) Stokes, Goldstein の法則等に基く、流體中に於ける大小粒子の落下速度の差を利用するもの。
- (2) 粉末による光の反射、吸収を利用するもの。
- (3) 以上の(1)、(2)を併用するもの。
- (4) 像擴大裝置によつて分布狀態を直接に實測するもの。

上の(1)に屬する裝置の中、流體として空氣を使用するものは所謂、風篩器であつて、Gary & Lindner 型、米國標準局型、Petersen 型、Roller 型、Gonell 型等を數へることが出来る。液體を用ふるものには、水簸法、沈降法に屬する Wiegner, Köhl, Andreasen 氏等の方法、Microneter, その他幾多の考案、改良がある。

(2) に含まれるものに粉末度の相違による色相の變化を利用した Leukometer が挙げられる。

(3) に分類されるものは最近アメリカで規格に加へられた例の Turbidimeter 類で、粒子の落下速度の相違と光の吸収とを利用してゐる。

(4) は顯微鏡又は幻燈等によつて、粉末を構成する各粒子の像を擴大して、その分布を直接觀察する方法である。

以上の各々の分類項目に屬する諸装置の性能には夫々一長一短が有る。これ等の中、風篩法は古き發達史を有し、時日の淘汰を経て洗練され、捨て難き長所と高い信頼度をもつてゐる。

III 風篩法

風篩装置を大別すると送風部、空氣調節淨化部、風篩部からなることが出来る。前 2 者は清淨な空氣を適當なる壓力としその量を一定に保つに必要な附屬具であつて、装置の主體をなすものは

風篩部である。これ等装置一式の概略は第 1 圖に示す様である。

風篩部を更に細別すればコンテナと、風篩筒の 2 主要部分よりなる。コンテナ中にて粉末を構成する粒子が個々別々に分離され且つ風篩筒内を上昇する現象は風篩に於て二つの重要な役割をなし、然も後者は結局流體中にある不規則形粒子の重力の場に於ける落下現象に歸するのであつて、これに關しての試験の報告と省察を試み様とするのである。

1. 風篩筒内粒子上昇機構 重力の場に於ける流體中の粒子落下法則は Boselli, Odén 氏等によつて研究された。本邦に於ても先般、鶴見氏 (仙臺高等工業學校紀要, 第 12 冊) により同方面の試験がなされたのである。併し Odén 氏の「個々の粒子の落下速度でなくて、大きさの大體よく揃つてゐる粒子の平均の速さを取れば、何れの場合も落下の確率は同じで、計算による平均の有効徑は實際の平均徑に比較的好く對應するであらう」と云ふ結論に達した研究は、個々の粒子に就てではなく全く平均値に就て論ぜられたものであり、又鶴見氏の場合は靜止流體中並びに重力と直角をなす流水中に於ける試験であるから、吾々の研究の對象にあるセメントの如き不規則形粒子の風篩筒内に於ける様な不均一速度分布氣流中の行動に關しては、左程適切な示唆を與へるものではない。筆者は、多數粒子の平均値に就てではなく、個々の不規則形粒子に關する法則を探究し、些か補足する處あらんとして行つたのが次に述べる研究である。試験方針を先づ摘記すれば:—

長時間風篩繼續後の風篩終點に於て上昇し來る限界粒子の多數に就て個々の粒子の形狀、大きさを適當な方法によつて精査考察すること。これが一つの探究法であり、風篩の實際に則した方法であると考えられる。次に詳細に亘つてこれを敘述することとする。

風篩法に於て、風篩筒内の上昇氣流は Reynold's Constant を超過しない様な平均速度であつて、從つて整流にしてその風篩筒軸を含む切斷面内に於ける速さの分布は、拋物線狀 (第 2 圖) となす場合を考へて見る。

符號	名 稱
A	送 風 機
B	空 氣 淨 化 器
C	ガ ス メ ー タ ー
D	壓 力 計
E	風 篩 器
1	モ ー タ ー
2	空 氣 吸 入 孔
3	風 量 調 節 バ ル ブ
4	オ イ ル ト ラ ッ プ
5	乾 燥 用 マ ド ソ ー ル
6	濾 過 用 綿
7	空 氣 溜
8	微 動 調 節 バ ル ブ
9	ノ ッ ツ
10	コ ン テ ー ナ ー
11	接 合 用 パ イ プ
12	打 激 用 ベ ル
13	風 篩 筒 下 部
14	風 篩 筒 上 部
15	氣 流 反 射 円 錐
16	上 蓋
17	上 部 風 篩
18	下 部 風 篩
19	空 氣 逸 漏 密
20	清 掃 用 ブラ ッ シ ュ

從つて、筒の中心よりの距離 r なる點に於ける風速 U は

$$U = U_m (1 - r^2/r_0^2)$$

U_m : 筒の中心に於ける風速

r_0 : 風篩筒半径

靜止空氣中に於ける粒子落下の法則を

$$v = cd^2$$

v : 粒子落下速度

d : 粒 子 徑

c : 常 數

なる數式によつて表されるものとする。

半徑 r の筒所に於て、流速 U の空氣流による、徑 d なる粒子の上昇速度は

$$U - v = U_m (1 - r^2/r_0^2) - cd^2$$

である。粒子がコンテナ内から上方に飛出し得る確率は、個々の粒子に就て同じであるとすれば、徑 d の粒子が、單位時間に $2\pi r dr$ なる環狀面素 (第 2 圖) を上方に通過する粒子の數は

$$P = (U - v) 2\pi r dr = \{U_m (1 - r^2/r_0^2) - cd^2\} 2\pi r dr$$

に比例する。 $r=0$ から下に説明する或大きさの半徑 ra まで上式を積分すれば

$$P = 2\pi \int_0^{ra} \{U_m (1 - r^2/r_0^2) - cd^2\} r dr$$

$$= 2\pi \{ (U_m - cd^2) - (U_m ra^2)/(2r_0^2) \} (ra^2/2) \dots \dots \dots (1)$$

ここに ra は徑 d の粒子が丁度支へらるべき風速を與ふる點への中心よりの距離であつて、次式によつて求められる。即ち

$$cd^2 = U_m (1 - ra^2/r_0^2)$$

從つて

$$ra^2 = r_0^2 (1 - cd^2/U_m)$$

この ra^2 を (1) 式に代入すれば

$$P = \pi \{ U_m - cd^2 - (U_m/2) (1 - cd^2/U_m) \} r_0^2 (1 - cd^2/U_m)$$

$$= (\pi r_0^2/2 U_m) (U_m - cd^2)^2 \dots \dots \dots (2)$$

この式は上述の様に d なる粒子徑をもつ粒子が風篩によつて風篩筒内を上昇流逸する確率を表すもので、 U_m は恒數であるから cd^2 が U_m に比して小さい場合には上式 P の値は大きく、從つて粒子徑 d の小さい粒子が上昇する確率は大きい。この粒子徑 d の變化に伴ふ粒子流逸の確率の減少の様子を圖示すると第 3 圖のようになる。

第 3 圖
粒子流逸確率 P

この図に見らる様に、 $d=(U_m/c)^{1/2}$ に於て曲線は最小を示し、これより大きい径 d を有する粒子は上昇し得ない筈であるから、それよりも小さい d に対する確率 P を考ふればよい。 d が小さくなると P は急激に増大し $(U_m - cd^2)^2$ の形で利いて来る。即ち、風篩に於ては粒子の上昇流逸する割合は、粒子が小となるに従ひ大となり、小粒子は短時間に吹き飛ばされて了ひ、大小粒子の分離が比較的迅速明瞭に行はれ、従つて、分離限界は可成り鋭角的である。このことはセメント粉末の場合、上の假定を比較的良好に満足する 10μ 以上の粒子に就て適切に言はれる。故に、限界粒子径約 70μ 附近に於て、数時間風篩を繼續せし後に、風篩筒を上昇し来る粒子の大きさは、相當よく揃ひ、これ等限界粒子径の大きさを統計的に探究することにより、風篩に於ける粒子上昇機構を明かにし得ると考ふ。本問題の追究の爲に使用した風篩は第 4 圖に示す如く Gonell 式のものである。

第 4 圖
ゴ ー ネ ル 式 風 篩 器

併しここに一言したいのは、必ずしも Gonell 式による必要なく唯粉末と空気との混和を完全にし、コンテナからの各粒子の逸出の機会を均等ならしめ、且つ風篩筒は空気を整流せしめる様な径及び長さを有することが肝要であつて、他の種の風篩器によるも實驗結果は同様の結論に到達し得るものと推考する。この試験を行つた際の諸條件は次の様である。

第 1 表 風 篩 條 件

試験 No.	風 量 cm ³ /sec.	風篩筒断面積 cm ²	風篩筒内平均風速 cm/sec	空気温度 °C	風篩時間 h
1	350	9.35	34.5	19	4.5
2	365	9.35	39.0	19	4.5

供試された粉末（記號 AK4）は、乾式法による普通ポルトランド焼塊を先づ鐵製乳鉢にて粉碎、これの 900 孔篩通過、4900 孔篩上の部分を、直径 14mm 磁製ボール入り、径 198mm の磁製ポットミルにて粉碎したものである。

第 1 表中の風篩試験 No. 1 なる條件によつて得た限界粒子群を AK4D とす。即ち、原粉末 AK4 の 10g を、平均風速 34.5 cm/sec にて 4.5 時間風篩した後、0.5 時間に上昇し來つた粒子群を AK4D と名附ける。第 1 表試験 No. 2 による限界粒子群 AK4E は、平均風速 39.0 cm/sec にて上記の風篩に續いて 4.5 時間風篩後、0.5 時間に上昇して來た粒子群である。

先づ兩粒子群（AK4D, AK4E）の各 200 箇合計 400 個粒子の夫夫に就て、その長さ l 、幅 b 、高さ t 及び俯瞰面積 f を顯微鏡下に測定した。

この際測定用プレパラート製作法は、清潔にしたスライドグラス上に粒子を落下せしめ、自己の安定状態をとらしめる様にしたものである。粒子の長さ (l)、幅 (b)、俯瞰面積 (f) は、顯微鏡の Ocular Micrometer によつて測定した。例へば、顯微鏡の視野を示した第 5 圖に於て、粒子像の最長の徑を l 、これに直角な方向の徑を b とする。俯瞰面積 f は網

第 5 圖
長さ、幅、面積、高さ測定測置の概略

第 6 圖に於て A は俯瞰面積の l, b, f 測定用鏡筒、B はそれと直角をなす高さ t 測定用のもので、これは對物鏡の Working Distance をなるべく大にして、スライドグラスの或範圍の水平移動が自由になる様にしてある。スライドグラス面は、B の鏡筒軸を含み A の軸には直角である。そして粒子の像が、A の Ocular Net-micrometer 中のある特定點に來る様スライドグラスを水平に移動せしめたとき、B は丁度その粒子に焦準する様調整されてある。セメント粒子の高さ t の測定には、從來 1, 2 の方法が行はれてゐるが、それ等の方法にて測定し得た高さ t には l, b, f と同程度の精確度を望むことは到底出來ないのに反して、本方法によるときはその缺陷を補ふことが出來、従つて t をも加味した粒子径 $\sqrt[3]{f/t}$ 、 $\sqrt[3]{lbt}$ 等を他の種類の径 $\sqrt{l/b}$ 、 $\sqrt{f}$ 等と同等に取扱ふことが出來る。

以上述べ來つた所は、風篩筒内に於ける粒子上昇機構を討究する爲の準備として、

1 風篩に於ては粉末を大小 2 粒群に比較的短時間にて截然と分離せしめ得ることを數學的に説明し、實際ゴーネル式風篩器によつて粉末 AK4 を分離して、その分離限界に位する AK4D, AK4E な

る 2 粒子群を得たこと。

2. それ等の粒子の長さ、幅、高さ、俯瞰面積の測定法。

を説明したのであつた。

次に問題の本筋に立入つて論じようと思ふ。議論の要旨は以下の様である。風篩の可成り長時間後に於て上昇し来る粒子は、上述の如く數式によつても證明され、又實際、後に示す様に顯微鏡下の測定の結果大きさは非常によく揃つてゐるのであるが、斯る一樣粒子群とも稱すべき多數の粒子中の 200 個宛 2 組 AK4D, AK4E について、前記の方法によつて個々粒子の各々に就てその長さ l , 幅 b , 高さ t , 俯瞰面積 f を丁寧に測定し、各粒子の粒子径 $l, b, t, \sqrt{lb}, \sqrt{bt}, \sqrt{f}, \sqrt[3]{ft}$ を計算した。そしてその夫々 200 宛の平均値 $l_m, b_m, t_m, (\sqrt{lb})_m, (\sqrt{bt})_m, (\sqrt{f})_m, (\sqrt[3]{ft})_m$ を求め、個々の値のそれ等の平均値に對する比を計算し、平均値を原點として横軸上にその比の値をとり、縦軸には比の値の同じ範圍(その Interval は AK4E 粒群に於ては 0.0433, AK4D に對しては 0.0467)に屬する粒子の個數をとる。かくしてそれ等の點を連ねる所謂 Frequency Curves と稱すべき曲線を引けば AK4E, AK4D に就てそれぞれ第 7 圖, 第 8 圖の如くなる。

第 7 圖

粒子径(比率に換算)と個數との關係

第 8 圖

粒子径(比率に換算)と個數との關係

但し上圖に於ては混雜を避ける爲に實測點の記載を略し、それらを點綴する曲線のみを示した。又 l, b, t に對する曲線は殆ど同じ狀態を示すので、第 7 圖には b に就ての曲線を以て l, t のそれを代表せしめた。第 8 圖には $l, b, t, \sqrt{lb}$ を略し、 $\sqrt{lb}, \sqrt{f}, \sqrt[3]{ft}$ に對するもののみを掲げた。それは前 4 者を加へても第 7 圖と殆ど同じ狀態を示すであらうし、第 8 圖の三つの曲線によつても充分同じ

結論に達し得るからである。

扱、これ等の曲線は何を物語るか。

1. 何れの曲線も縦軸上に頂點を有し、大體の形狀は誤差曲線に似通つてゐる。この事實は、風篩終點に於て上昇する粒子の大きさは、これを $l, b, t, \sqrt{lb}, \sqrt{f}, \sqrt{bt}, \sqrt[3]{ft}$ にて表すとき、その何れによるも普通の偶然性に支配されて居ることを示すものと云へやう。

2. 曲線の頂點の高さに相當する個數、即ち同大の粒子の最も集中してゐる縦軸上の値は $b, \sqrt{lb}, \sqrt{f}, \sqrt{bt}, \sqrt[3]{ft}$ の順に次第にその大きさを増してゐる。今この事實の眞義を熟考して見たいのである。AK4E, AK4D の粒群は風篩終點に於て上昇して來たもので、これ等の大きさを l, b, t によつて表して見た場合その平均値への集中性は最も悪く、 $\sqrt{lb}, \sqrt{f}, \sqrt{bt}, \sqrt[3]{ft}$ で表はすとき次第に集積性を増して來るのを見る。この中 $\sqrt{f}$ が $\sqrt{lb}$ に比して集中性の高いのは、顯微鏡による俯瞰面の二次平面内の形狀に關する限り、その像の大きさを $\sqrt{f}$ がより忠實に表現してゐるによると解釋することが出来る。更に粒子の大きさを立體的に表す所の $\sqrt{bt}, \sqrt[3]{ft}$ に就て考へて見ると、 $\sqrt{bt}$ は數學的には $\sqrt{lb}$ と同程度の幾何學的表現性しか有しない。この點からのみすると上に $\sqrt{f}$ と $\sqrt{lb}$ とを比較したときと同様に $\sqrt{f}$ の收斂性は $\sqrt{bt}$ に優つてゐる筈である。所が第 7 圖に見らる様に $\sqrt{bt}$ は $\sqrt{f}$ より上位の頂點(收斂性)をもつてゐる。これは取りもなほさず、風篩による限界一樣粒群に於ては、粒子の高さを考慮に入れるときは、その大きさをより忠實に合理的に表現するものであることを示唆してゐるのであつて第 7, 8 圖の $\sqrt{ft}$ の曲線が更にこれを雄辯に證明してゐる。即ちそれ等の曲線の頂點は、他のものに比し懸け離れて高いのである。この著しい事實を説明する爲に $\sqrt[3]{ft}$ が、他の $(l, b, t), \sqrt{lb}, \sqrt{bt}, \sqrt{f}$ に比して粒子個々の實體積に最も密接な關係を有する點を擧げことを至當とする。詳説すれば、測定の可能な範圍にて採用される粒子径にして然も個々の體積に直接關係を有し、忠實に表現する粒子径は $\sqrt[3]{ft}$ であつて、これによる上記曲線の頂點高く、集中性大なる所以も亦その點にあると云ふことが出来る。この據つて來る所は $b, \sqrt{lb}, \sqrt{bt}, \sqrt{f}, \sqrt[3]{ft}$ の中 $\sqrt[3]{ft}$ は他に比して遙かによく實體積を表す粒子径である點に基くのであつて、これを更に押し進めて考へると、若し限界粒子の大きさをその個々の體積 v の 3 乗根 $\sqrt[3]{v}$ で表せば粒子径の數値は更に優秀な均一性を示し、非常によく揃つた値を持つものと推斷されるのである。尤も粒子径としては更に他の形 $\sqrt[3]{lb}, (l+b+t)/3, (l+b)/2, \sqrt{lt}$ 等考へられるが、これ等を考慮に入れても同様の決論に達することは明かである。

第 7, 8 圖に關する考察は大體以上の様であるが、茲に附言致したいことは今の場合出來得べくは個々の粒子の實體積を測定し、それら 3 乗根論 $\sqrt[3]{v}$ と粒子の個數との關係を第 7, 8 圖の如き曲線で示し簡明に斷定を下したいのであつたが、現今の進歩程度の設備によつては斯る微粒子個々の體積 v の測定は不可能であるから、上に示した様な漸進的の攻究法を採つたのである。

本節始めより述べ來つた所を總括すれば、

A. 長時間風篩の終點に於て、風篩筒を上昇する粒子の大きさは良く揃ふ筈であることが理論的に導出され、又これを實證する實驗結果が得られた。

B. それ等粒子の實測による各種線的大きさ(粒子径)の中 $\sqrt[3]{ft}$ が最も一樣なる値を示し、その平均値への集中性が大きい。もし各粒子に就て $\sqrt[3]{v}$ を測定し得たならば更に著しい均一度を示すことが推斷される。

更に極言すれば

「風篩終點に於て上昇し来る粒子の個々の體積は殆ど相等しい」

これを換言すると

「不規則形粒子が静止流體中にて自然落下する際、等體積を有する粒子は等速度を有す」

とも云ひ得る。

次に問題になるのは、その不規則形粒子の大きさと落下速度との間を關係づける法則である。この法則を探索するに當つて、先づ不規則形粒子の線的大きさ（粒子徑）としては、上述に於て決論し得た處に従つて、粒子の體積 v の 3 乗根 $\sqrt[3]{v}$ を採用することは當然である。然も測定困難な粒子各個の體積ではなく、風篩終點に於ける一樣粒子の可成り多數の總體の體積 V を、個數 n にて除して得た體積を以て一個宛の體積 v_m と見做して差支へないことは、上に示した總括によつても當然であるし、又後報に示す平均値に關する計算上の事實よりしても妥當性を缺くものではない。即ち

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt[3]{v_i}}{n} \doteq \sqrt[3]{\frac{\sum v_i}{n}} = \sqrt[3]{\frac{V}{n}} = \sqrt[3]{v_m}$$

v_i : i 番目の粒子の體積

として差支へない。

上の所論に基いて、風篩終點に於て採取した 2 粒群 AK4D, AK4E 中より各 10,000 個を數へ取り、その質量 W を秤量した。又別にそれ等一樣粒子群の比重 σ を測定し、次式によつて粒子一個宛の體積 v_m を算出することが出来た。

$$v_m = W / (10,000 \sigma)$$

實測値は AK4D 粒群に對して

$$W = 0.0107 \text{ g} \quad \sigma = 3.18 \text{ g/cm}^3$$

故に上式によつて

$$v_m = 3.37 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$$

AK4E 粒子群に就ては

$$W = 0.0137 \text{ g} \quad \sigma = 3.18 \text{ g/cm}^3$$

従つて

$$v_m = 4.31 \times 10^{-7} \text{ cm}^3$$

以上二つの平均の體積 v_m の 3 乗根 $\sqrt[3]{v_m}$ 、即ち粒子一個の體積と同じ體積を有する立方體の一辺（これを表體積徑 d_v とす）は

$$\left. \begin{array}{l} \text{AK4D に對して } d_v = \sqrt[3]{v_m} = \sqrt[3]{3.37 \times 10^{-7} \text{ cm}^3} = 69.5 \mu \\ \text{AK4E に對して } d_v = \sqrt[3]{v_m} = \sqrt[3]{4.31 \times 10^{-7} \text{ cm}^3} = 75.5 \mu \end{array} \right\} \dots (2)$$

扱、第 1 表に掲げた様に AK4D は風篩筒内平均風速 34.5 cm/sec, AK4E は 39.0 cm/sec にて長時間風篩し、その終點に於ける限界粒子群であることを想起し、これを Goldstein 式を考慮した落下法則の式（但し d は球形粒子の直径）

$$d = \left\{ \frac{3}{2} \frac{\eta^2}{\rho(\sigma - \rho)g} k_D R^2 \right\} \frac{1}{3} \dots \dots \dots (3)$$

$$k_D = \frac{12}{R} \left(1 + \frac{3}{16} R - \frac{19}{1280} R^2 + \frac{71}{20480} R^3 - \dots \right)$$

$$R = U d \rho / \eta$$

に於て

$$\eta = \text{空氣の粘性係數} = 1.81 \times 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{sec} \quad (\text{at } 20^\circ \text{C})$$

$$\rho = \text{空氣の密度} = 1.21 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3 \quad (\text{at } 20^\circ \text{C}, 760 \text{ mmHg})$$

$$\sigma = \text{粒子の比重} = 3.18 \text{ g/cm}^3$$

$$g = \text{重力加速度} = 980 \text{ cm/sec}^2$$

これ等と AK4D の場合の

$$U = 34.5 \text{ cm/sec}$$

を (3) 式に代入して

$$d = 68.5 \mu$$

を得る。更に AK4E の場合の

$$U = 39.0 \text{ cm/sec}$$

に對しては

$$d = 74.5 \mu$$

となる。

更に Oseen の式

$$d = \left\{ \frac{9}{4} \rho U^2 + \sqrt{\frac{81}{16} \rho^2 U^4 + 32(\sigma - \rho)g\eta U} \right\} / \left\{ \frac{4}{3}(\sigma - \rho)g \right\}$$

に上記の諸數値を代入すをば、AK4D に對して

$$d = 69.5 \mu$$

AK4E の場合には

$$d = 75.4 \mu$$

を得る。上述の如く風篩筒内平均風速より Goldstein 式及び Oseen 式を用ひて算出せるこれ等の粒子徑と、前掲 (2) 式に示した所の粒子各 10,000 個の質量から算出せる表體積徑 $d_v = \sqrt[3]{v_m}$ の値とを比較して次表に掲げる。

第 2 表

Goldstein; Oseen 徑 (計算値) と表體積徑 (實測値)

との比較

粒 子 群	AK4D	AK4E
粒 子 徑 μ		
Goldstein 徑 (計算値) d_y	68.5	74.5
Oseen 徑 (計算値) d_o	69.5	75.4
表體積徑 (實測値) d_v	69.5	75.5

Goldstein 式 Oseen 式による計算値と、實測による粒子徑値とが上表に看らるる如くよく一致したことは、次の様に判斷することを許すであらう。

セメントの風篩に於ける如く粒子が不規則形をなし、上昇空氣流速分布が不均一（但し整流）を示してゐる場合にも、粒子の線的大きさとして粒子の體積の 3 乗根、空氣流速として風篩筒内の平均流速を採用し、それ等に粒子徑 (d)、流速速度 (U) なる記號を與ふれば、Goldstein 式又は Oseen 式で表される法則が成立する。

以上の様に導出された試験結果はその経過より知らるる如く、個個の粒子の上昇機構を特別の方法によつて統計的に明かにする方法を採り、可成り明確な數字的内容を賦與することが出来たと考へるのである。そしてこれが不規則形粒子の不均一速度分布流體中に於ける象現について説明するものであるから、斯る現象を伴ふ他の同様の問題を取扱ふ際適用して可なりと思ふ。

次に検討を要することは、上の試験に於て使用した風篩筒内の空氣流が整流をなしてゐるかであつて、この點に就て少しく論じて見よう。使用した空氣量は D 粒群に比して E 粒群の方が大であるから今後者について考究すればよい譯である。AK4E の場合の條件は

$$\text{風篩筒内平均風速} \quad w = 39.0 \text{ cm/sec.}$$

$$\text{風篩筒内部半径} \quad r_o = 1.73 \text{ cm}$$

$$\text{空氣の密度} \quad \rho = 1.21 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$\text{空氣の粘性係數} \quad \eta = 1.81 \times 10^{-4} \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$$

であるから Reynold's Number R

$$\begin{aligned} R &= w r_o \rho / \eta \\ &= 39.0 \times 1.73 \times 1.21 \times 10^{-3} / (1.81 \times 10^{-4}) \\ &= 451 \end{aligned}$$

となる。Schiller によれば整流、亂流の境界は

$$R_K = 1160$$

なる Reynold's Number を示す場合であるから、この半分の値を與へてゐる上の例では勿論整流であるわけである。併し Stanton によるときは

$$R_K = 534$$

で Schiller の限界値よりは小さいが、本實驗では矢張りその値をも超過してゐないから、これに照しても整流をなしてゐるものと推察される。

要 約

以上敘述し來つた所を摘記すれば次の様である。

- (1) セメントの物理的性質中粉末度は最も重要であり、セメントに對する諸種の要求と試験一般の精密化傾向は、必然的に細かさ測定の向上を要求するに至つた。
- (2) 粉末度測定をその原理別にすると 4 種類挙げられるが、その 1 種に屬する風篩法は捨て難い長所と高い信頼度をもつてゐる。
- (3) 風篩法に於て根底をなす所の風篩筒内に於ける印子の上昇機構に就て、數學的探究と實驗的追究を併用し、一つの新しい究明を試みた。
- (4) 先づ風篩に於ては粉末から大小二印群への分離が、比較的銳角的に行はれることを數式によつて示した。
- (5) 事實適當な條件の下ではこのことが可成り良く行はれ、風篩

時間の終點後の短時間に上昇する限界印子群の大きさは相當よく揃つてゐる。

- (6) 以上の様にして得た二つの限界印子群に屬する 400 個の印子に就て、各種の線的大きさ (印子徑) を、この目的の爲に組立てた測定装置によつて精密に測定した。
 - (7) それ等各種の印子徑 (横軸) に對して個數を縦軸にとり、頻度曲線を畫きそれ等の頂點の高さを比較することにより、結局不規則形印子、不均一速度分布氣流に於ても、個々の體積相近き印子が風篩終點に於て上昇し來るものなる事を明かにし得た。
 - (8) 斯くの如く印子個々の體積殆ど相等しきにより、2 粒群の各各から 1 萬個宛を數へ取り、この質量と比重とより印子 1 個の體積 v_m を求めその 3 乗根 $\sqrt[3]{v_m}$ と、それを風篩した際の筒斷面内の平均氣流速度 U との間には Goldstein 式又は Oseen 式の成立することを驗證し得た。
- 尙この試験研究に際して懇篤なる御指導を賜つた、研究所長 藤井光藏氏に深く感謝の意を表す。

Abstrakt

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DER ZEMENTFEINHEIT, I.

von Kimbe Tyudyo

Der Verfasser benützte Windsichtern zur Forschung der Zementfeinheit, denn die Windsichtung ist eine sichere und zuverlässige Messmethod.

So bedürfte es zuerst, die zugrundlegenden Prinzipien in bezug auf dem Verhalten der Zementkörner bei der Windsichtung zu untersuchen.

Die Erforschung würde folgenderweise gefördert, indem verschiedene Arten von Durchmessern der am Ende der Windsichtung steigenden 400 so genannten grenzenden Körner mittels Mikroskopes genau abgemessen und statistisch untergesucht wurden. Von den grenzenden Körnern 20,000 Teilchen abgezählt und ihre Masse und spezifische Gewicht abgemessen und so das durchschnittliche Volumen v_m eines Kornes wurde gerechnet.

Die Resultate der Forschungen sind folgendes:

- (1) Die Zementkörner haben unregelmässige Formen, aber die Volumen der Partikeln, die am Ende der Windsichtung emporsteigen, sind gleich voneinander.
- (2) Zwischen $\sqrt[3]{v_m}$ und der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit durch den Querschnitt der Sichtungszylinder, besteht Goldsteinischen oder Oseenischen Gesetz.

(Asano Portland Zement A.—G. Tokio)