

# 骨材粒度の一図式表示方法\*

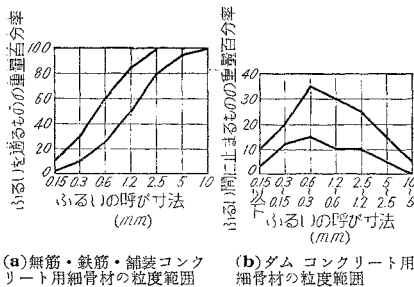
水 野 俊 一\*\*  
笠 原 正\*\*\*

## 1. ま え が き

骨材の粒度は、一般に、各ふるいを通過するものの百分率または各ふるいに止まるものの百分率、あるいは連続した各ふるい間に止まるものの百分率をもって表わし、図示するには図-1に示すように、縦軸にこれらの量、横軸にふるいの呼び寸法をとって画いた折線を用いるのが普通である。

著者は、混合物中の各成分の量を三角座標を拡張した多角座標（仮称）で示す方法を考案したが、これを骨材の粒度を表わすのに応用すると多くの利点があり、便利であることが判明したので、ここに報告する。

図-1 骨材の粒度を表わす2つの方法



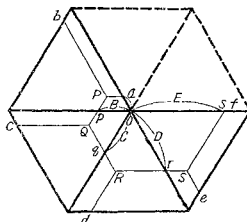
(a)無筋・鉄筋・舗装コンクリート用細骨材の粒度範囲 (b)ダムコンクリート用細骨材の粒度範囲

## 2. 多 角 座 標

3つの成分からなる混合物の各成分の量を座標で示す方法としては、三角座標が一般に用いられている。4成分の場合は正三角すいを用い、立体図で示す方法があるが図示が困難で、成分数がさらに増加すると図示ができなくなる。そこで、4成分以上の場合でも平面図に示すことができるようにするため、図-2に示すように、三角形を接続させた座標（かりに多角座標と称することに）を考案した。

図-2 多角座標のとりかた

この座標を用いて骨材の粒度を表わすにはつぎのようにすればよい。いま骨材が6種の粒径のものに分級されているとする。全重量にたいする各粒径のもの重量百分率を  $a, b, c, d,$



$e, f$ とすると、まず、 $a$ と $b$ から $P$ 点を求め、 $PQ$ 線と $c$ から $Q$ を求め、同様な手順によって $R$ および $S$ を求める。かくして、 $a, b, \dots, f$ の粒度の骨材は  $PQRS$  で表わされるわけである。ここで、線分  $\overline{op} = B$  は  $a+b$  を表わし、 $\overline{oq} = C$  は  $a+b+c$  を表わしている。

この方法を用いれば8成分まで図示することができ、 $n$ 成分の場合には  $(n-2)$  点の座標で各成分が示されることになる。この多角座標は、連続した各ふるい間に止まる量と、その累加量である各ふるいを通過する、あるいは止まる量の両者を同時に示すことができ、これが多角座標の長所の一つとなっていて、粒度の範囲を示す場合などに用いると便利である。この方法は骨材の粒度のみならず多くの場合に適用できると思われるが、コンクリートの配合計算に用いても便利である。

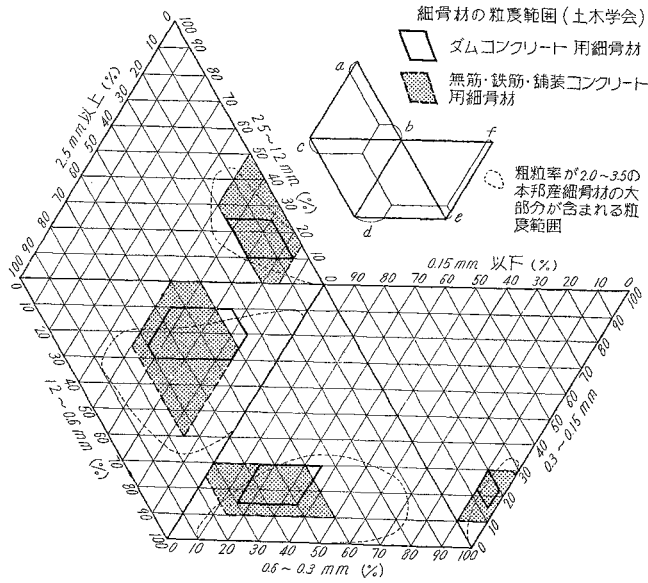
つぎに、多角座標を用いて粒度の範囲を示すにはつぎのようにすればよい。土木学会制定のコンクリート標準示方書に示されている細骨材の標準粒度の範囲は図-1に示してあるが、これらを多角座標で示すと、図-3のようになる。これをみると、骨材の粒度の範囲を示すのに、各ふるいを通過する（あるいは止まる）百分率を用いる方法と、連続したふるい間に止まるものの百分率で示す方法とでは、一般に示される範囲に差異を生ずることがわかり、複雑な粒度の範囲をより厳密に示すためには両者を併用するか、あるいは多角座標を用いなければならない場合も生ずることが予想される。いま、例を説明しよう。

無筋・鉄筋・舗装コンクリートの示方書に示されている粒度範囲をかりに[A]とし、ダムコンクリートの骨材の粒度範囲を[B]とする。図-3に示されているように、[A]では0.6~0.3mmの粒は、0~50%の広範囲にわたりうるが、[B]では15~35%となっている。0.6~0.3mmの粒が0%に近いものでも標準となる好ましい粒度であるならば[A]の表わしかたでもよいが、もしある値たとえば10%以下ではよくないのであれば、そのような制限を設けるのが望ましいわけである。1.2~0.6mmの粒および2.5~1.2mmの粒についても同様なことかといえる。

また、一方、[B]の粒度では0.6mmより大きな粒は35~70%の範囲にわたっているが、[A]では40~

\* 昭和35年度土木学会年次学術講演会において一部を発表  
\*\* 正員 大阪市立大学助教授、工学部土木工学科  
\*\*\*正員 大阪市立大学助手、同 上

図-3 多角座標による細骨材の標準粒度の範囲の図示



75% の範囲となっている。もし、ダムの細骨材でも無筋などの細骨材のように0.6mmより大きな粒の範囲の下限をおさえる必要がある場合には、[A]の表わしかたを併用すればよいわけである。多角座標で粒度範囲を示せば両者をふくんだ範囲を示すことができ、さらに、より以上の制限をつけた範囲を示すことも可能である。いま、一例として、粗粒率が2.0~3.5の本邦産細骨材の大部分がふくまれる粒度の範囲を示すと図-3のようになる。このような範囲は多角座標でなければ表わすのが困難であろう。

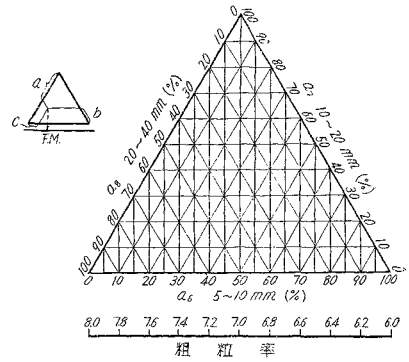
### 3. 多角座標による骨材の粗粒率の求めかたと粗粒率の範囲

骨材の粒度を表わすのに多角座標を用いる場合の一つの利点は、粗粒率および比表面積を図式で求めることができ、また、粗粒率、粒度の標準偏差および比表面積などの範囲を図上で示すことができることである。いま、骨材の粒度を表-1に示すような記号で表わすと、粗粒率  $M$  は次式から算出される。

$$M = \frac{1}{100} \sum_{i=0}^{10} A_i = \frac{1}{100} \sum_{i=0}^{10} i \cdot a_i$$

多角座標を用いれば、粗粒率は図式によっても求めることができる。いま、成分数が3, 4, 5 および 6 の場合について粗粒率の求めかたを示すと、それぞれ、図-4, 5, 6 および 図-7 のようになる。なお図中に座標点

図-4 粗粒率の求めかた (3成分の場合)



における粗粒率の上限と下限とを示した。これを見ると、ある粗粒率を有する骨材の各成分は少なくともどのような範囲内にあることが必要であるが一目でわかって便利である。

また成分のうちのいずれかが与えられた場合に、ある粗粒率を有する骨材の他の成分の範囲を示すこともできる。いま4成分の場合について説明しよう。図-8に示すような5~80mm骨材において、いま、 $a_5$  すなわち5~10mmの粒が25%である場合、他の成分  $a_9, a_8, a_7$  は図-8に示されている方法で簡単に  $\overline{ab}$ ,  $\overline{cd}$  の両線分上の点で示すことができる。つぎに、 $a_7$  すなわち10~20mmの粒が15%と与えられた場合の粗粒率が7.60の骨材の  $a_9, a_8, a_6$  の値は図-

図-5 粗粒率の求めかたと粗粒率の範囲 (4成分の場合)

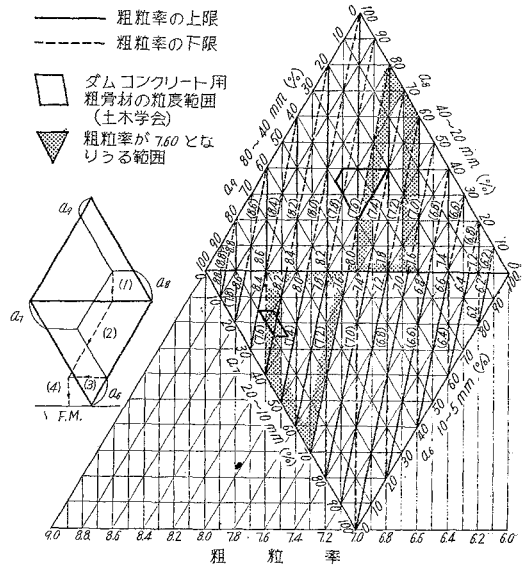


表-1

ふるいの呼び寸法 (mm)	150	80	40	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	Ⅲ
ふるいに止まるものの重量百分率	$A_{10}$	$A_9$	$A_8$	$A_7$	$A_6$	$A_5$	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$	100
ふるい間に止まるものの重量百分率	$a_{10}$	$a_9$	$a_8$	$a_7$	$a_6$	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$	

8 上の  $\overline{ef}$ ,  $\overline{gh}$  上の点で与えられる。これはつぎのようにして求めることができる。すなわち、図-5 に示されている F.M.=7.60 の範囲を示している限界線と  $a_7=15\%$  の線との交点を  $e$  および  $f$  とし、 $f$  から  $a_7$  軸に平行線をひいて  $h$  を求め、 $h$  から  $XY$  に平行に  $hg$  をひき、F.M.=7.60 の範囲の限界値との交点を  $g$  とすれば、求める範囲は  $\overline{ef}$  および  $\overline{gh}$  となる。 $a_6$  および  $a_7$  が与えられた場合も同様な方法で範囲を求めることが

できる。

#### 4. 多角座標による骨材の比表面積の求めかたと比表面積の範囲

骨材の比表面積は、近年、コンクリートの配合設計その他にとり入れられる傾向にある。正確な比表面積の値は現場について測定しなければならないが、ここでは、5~10 mm の粒の比表面積を  $4.0 \text{ cm}^2/\text{g}$  とし、Young

氏の方法に従って、粒径が2倍になると比表面積が1/2になるという関係を用いることにする。そうすると、骨材の比表面積  $S$  は表-1 の記号を用いると次式で表わされる。

$$S = \frac{1}{100} \sum_{i=0}^{10} 2^{8-i} \cdot a_i \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

成分数が3~5の場合に、比表面積を関式で求める方法を図-9、10 および 図-11 に示した。6成分の場合も関式で求めることが可能であるが、この場合は複雑になって、実用価値を失うので省略した。

座標点における比表面積の上限と下限を図-9 ないし 図-12 中に示してある。

#### 5. 多角座標における骨材粒度の標準偏差の分布

骨材の粒度を簡単に表わすには一般に粗粒率が用いられているが、同じ粗粒率の骨材でもいろいろな粒度のものがあることは一般に知られていることである。それで、粒度をさらに厳密に表わす方法として、粗粒率と標準偏差の両者を用いる方法が F.S. Fulton 氏により発表された。標準偏差は、粗粒率の等しい粒度でも、平均粒径に近い粒子が多ければ小さくなり、こまかい粒子やあらい粒子が多ければ大きくなるので、粗粒率とともに用いると粒度をよ

図-6 粗粒率の求めかたと粗粒率の範囲 (5成分の場合)

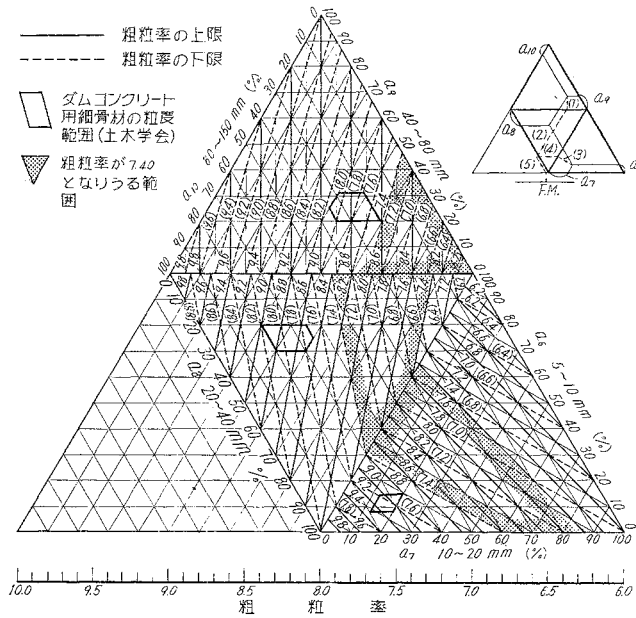


図-7 粗粒率の求めかたと粗粒率の範囲 (6成分の場合)

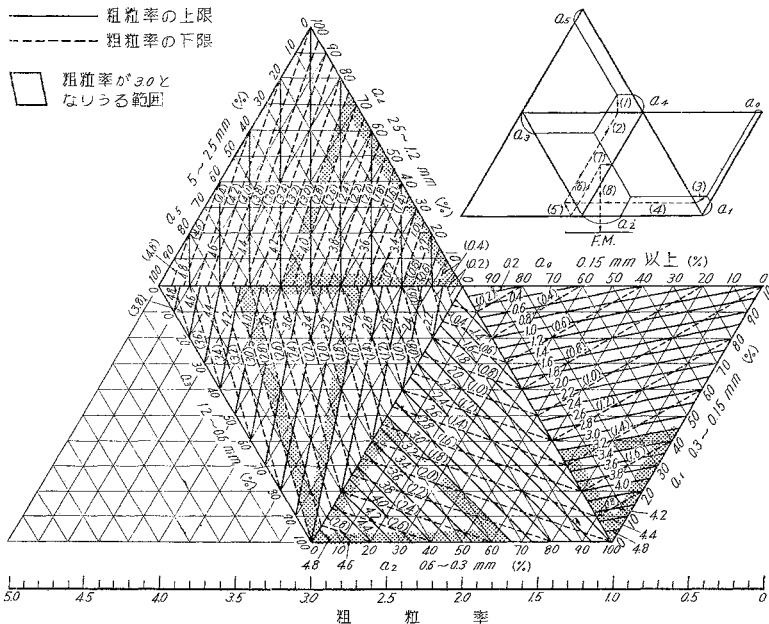


図-8 1成分が与えられた場合に所定の粗粒率を有する骨材の成分を求める方法

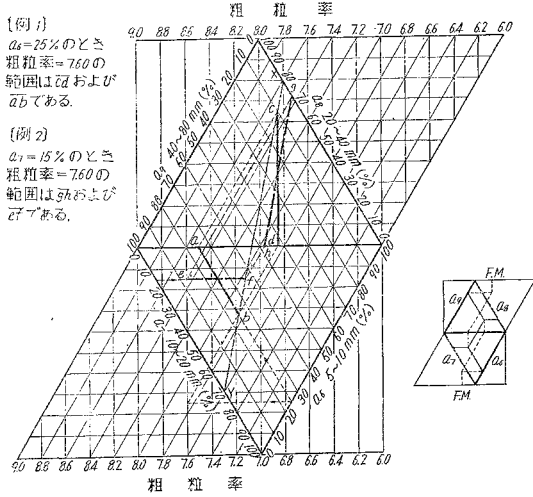


図-9 比表面積の求めかたと比表面積の範囲 (3成分の場合)

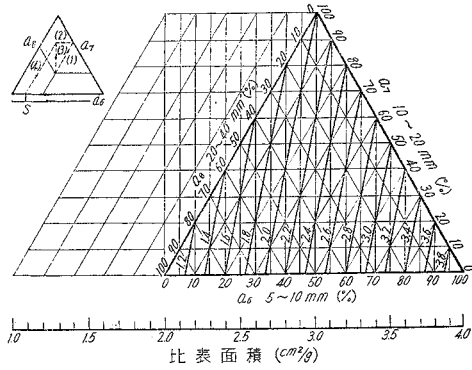
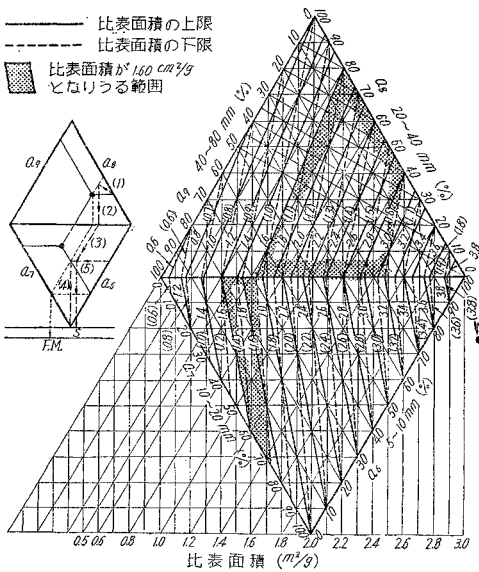


図-10 比表面積の求めかたと比表面積の範囲 (4成分の場合)



く表わすことができる。

標準偏差  $D$  を算出するには、表-1 の記号を用いた場合、F.S. Fulton 氏は次式を用いている。

$$D = \sqrt{\frac{10}{\sum_{i=0}^{10} a_i (i-M)^2 / 100}}$$

ここで、 $M = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=0}^{10} i \cdot a_i$  (粗粒率)

この式を直接用いると計算が複雑であるので、上式をつぎのように変形すると計算が簡単となる。すなわち

$$D = \sqrt{\frac{1}{100} \frac{\sum_{i=1}^{10} i^2 \cdot a_i - M^2}{\sum_{i=1}^{10} a_i}}$$

図-11 比表面積の求めかたと比表面積の範囲 (5成分の場合)

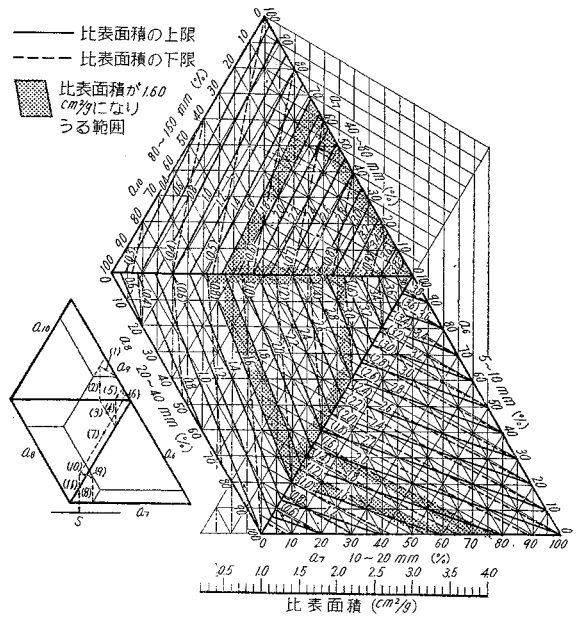
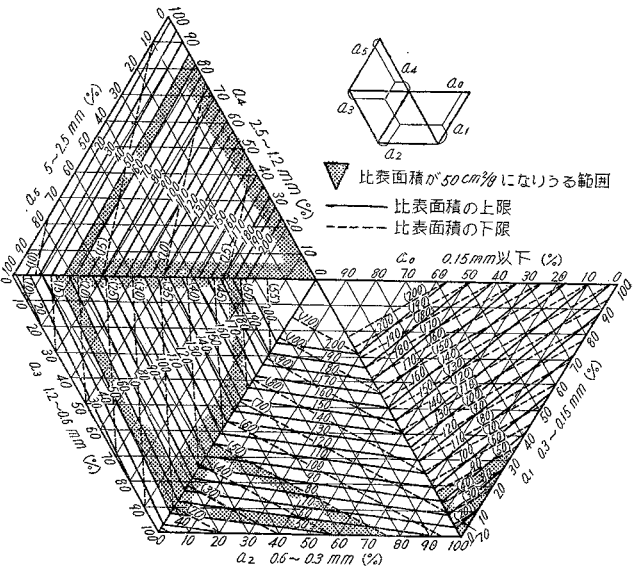


図-12 比表面積の範囲 (6成分の場合)



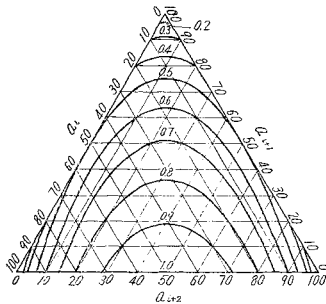
$$\text{あるいは、 } D = \sqrt{\frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{10} (2i-1) A_{i-1} - M^2}$$

標準偏差の計算では、計算を簡単にするために、表-1の記号の代りに、最小粒径の群を  $a_1$ 、あるいは  $A_1$  とするとよい。たとえば、 $a_6, a_8, a_7, a_6$  あるいは  $A_8, A_7, A_6, A_5$  を問題とする場合には、これらを  $a_4, a_3, a_2, a_1$  あるいは  $A_4, A_3, A_2, A_1$  として計算すればよい。このとき  $M$  の値としては、 $M - (6-1) = M - 5$  を用いるようにする。

多角座標を用いて標準偏差を図式で算出することはできないが、標準偏差の分布を示すことができる。成分数が3、4および6の場合の標準偏差の分布を図-13、14、15に示した。5成分の場合も同様にして求めることができるが、ここでは省略した。

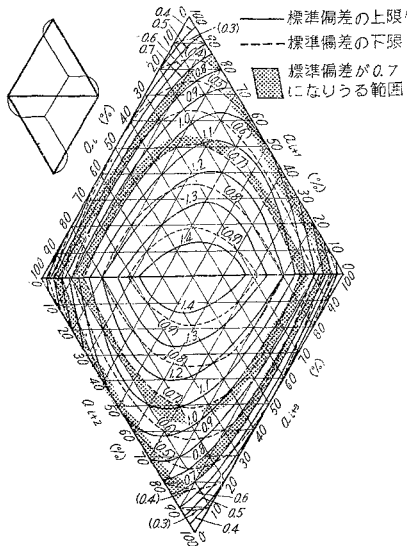
なお、成分のうちのいずれかが与えられた場合の、任意の標準偏差を有する粒度の骨材の他の成分の範囲も図示することができるが、ここでは省略する。

図-13 粒度の標準偏差の分布 (3成分の場合)



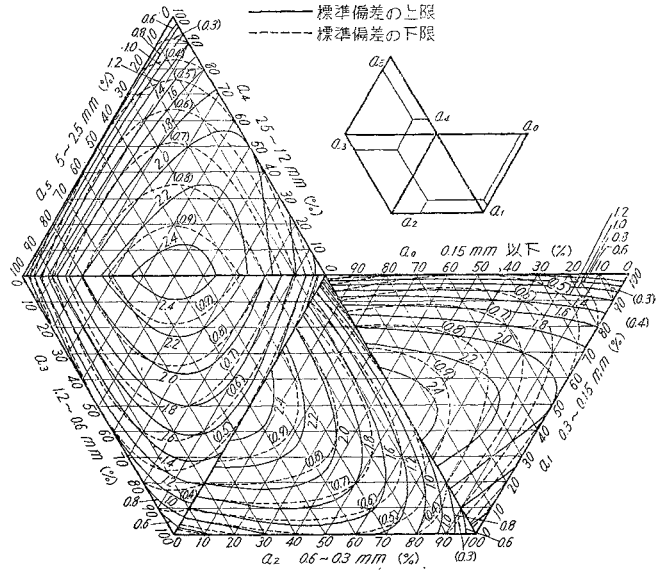
つぎに、粗粒率と標準偏差の両者が与えられた場合の各成分の範囲をも多角座標では示すことができる。いま一例として5~80mm骨材の粗粒率と標準偏差と

図-14 粒度の標準偏差の範囲 (4成分の場合)



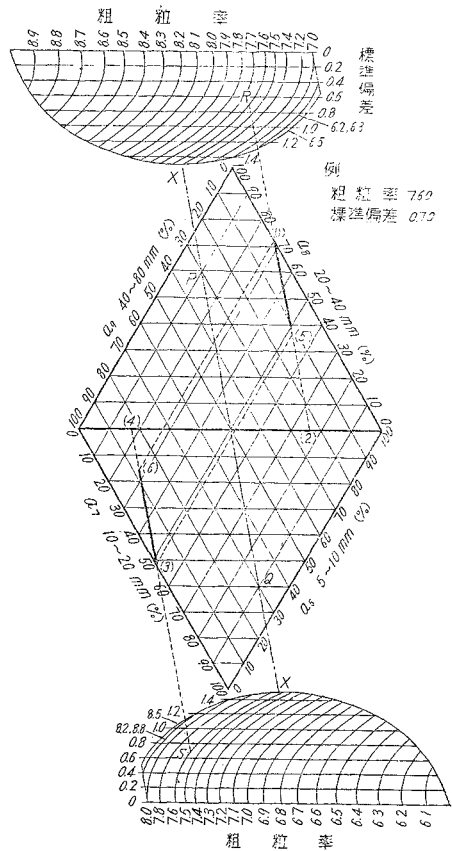
が与えられた場合の各成分の間の関係を示したのが、図-16である。この図はつぎのように用いればよい。 $a_9$

図-15 粒度の標準偏差の範囲 (6成分の場合)



$=30\%$ 、 $a_8=60\%$ の座標点  $P$  と  $a_7=60\%$ 、 $a_6=30\%$ の座標点  $Q$  とを結び線  $XY$  を基準線とし、与えられ

図-16 粗粒率と標準偏差が与えられた場合の粒度を求める図



た粗粒率と標準偏差とを示す点  $R$  および  $S$  から  $XY$  に平行な直線 (1) (2) および (3) (4) をひく。両直線上で多角座標条件を満たす線分 (1) (5) および (5) (6) が各成分間の関係となる。すなわち、両線分上で示される粒度の骨材は与えられた粗粒率と標準偏差とを有することになるわけである。

## 6. むすび

4成分以上の粒子を有する骨材の粒度を表わすために考案した、多角座標(仮称)の使用法の概略をのべたが、本研究によって得られた結果をまとめるとつぎのようになる。

多角座標によって骨材の粒度を表わすと、

a) 連続したふるい間に止まる粒の百分率を示すとともに、各ふるいを通過するあるいは止まる粒の百分率をも同時に示すので、粒度の範囲を示す場合などに用いると特に便利である。

b) 粗粒率および比表面積を図式で算出することができる。

c) 粒度の複雑な範囲でも従来の方法よりも正しく示すこともできる。

d) 粒度の品質たとえば粗粒率・標準偏差・比表面積等のうちのひとつ、あるいは幾つかが与えられた場合、あるいは、ある粒径の粒(ある成分)の量が与えられた場合に各成分の量を求めたり、各成分間の関係を求めることもできる。

終りにあたり、御指導を賜わっている本学の久保直志教授にたいし感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) R.B. Young: "Some theoretical studies on proportioning concrete by the method of surface area of aggregate." Proc. A.S.T.M., vol. 19, 1919
- 2) F.S. Fulton: "The fineness modulus and the grading of aggregates." Concrete and Construction Engineering, Mar. 1956 (原稿受付: 1960.5.24)

## 豆 知 識

### 最近の東京国際空港

昭和27年7月に米軍から返還された東京国際空港は、その後8年を経えますます発展している。

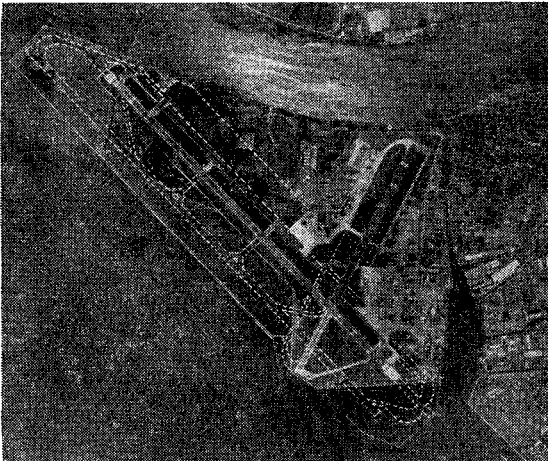
最近1日の航空機離着陸回数は最大400、最少100で平均約200、このうち定期航空機の運航回数は約100、国際線と国内線との比は約30対70になっている。

1日の旅客数は昭和34年度実績で平均国際線1100、国内線1200で乗降客はほぼ同数である。国内線については大した増加は認められないが、国際線についてはここ2~3年は年々15~20%の増加を示している。航空機がジェット化した今年度にはこの増加率はさらに上まわるものと思われる。

航空貨物は昭和34年上半期出国約2000t、入国約1000tでこのほかに国内線で約1000tの貨物を扱った。航空貨物は旅客とは別に今後ますます増加するものと思われるので、Air-Freight Terminalは今後の空港全体計画のうちでも十分に考えなければならないと思う。

現在の空港総面積は約2500000m<sup>2</sup>、主滑走路の長さは、2550m、副滑走路の長さは1650mであるが、大型ジェット機のためには3000m以上の滑走路が必要となるので、目下約

空港拡張計画図



1000000m<sup>2</sup>を埋立て拡張中であり、ここに主滑走路に平行して3150mの新滑走路を計画している。新滑走路とともに誘導路、エプロン等も逐次拡張して1963年度までに完成する予定である。Loading, Unloadingのスポットは全部で25~30を予定しているが、すべてFingerと称する渡廊下で連絡する計画である。Fingerから直接航空機に乗降できるAerobridgeのようなものも今後の分については検討してみたいと思っている。

表-1 工事予定表

理 立 工 事	1960	1961	1962	1963	1964
新 滑 走 路 工 事	■	■	■	■	■
エプロン及び誘導路工事	■	■	■	■	■
ターミナルビル周辺整備工事	■	■	■	■	■
ターミナルビル増改築工事	■	■	■	■	■
I. L. S. 設置工事	■	■	■	■	■

ターミナルビルディングの出入国手続をすませる部分、旅客待合室等も当然拡張を要求されている現状で、目下第1段

階として1964年の旅客数を推定して、1時間に200人の出国または入国の旅客を処理できるような施設を目標として今秋から増築に着手する予定である。将来これでも不足となったときには第2ターミナルビルとして別棟のものを造るのが適当だと考えている。各工事の大体の予定は表-1のとおりである。

空港拡張の基本となる埋立てが漁業補償についての交渉で、約2年を空費して遅れていることと、ジェット機の就航が予定より約1年早くなってしまったことから、現在の羽田は今日のジェット時代に対して3年近くの不ぞれがあるわけである。したがってここ2~3年は羽田にとってなかなかむずかしい時期であるといえる。

もう一つの問題は空港と都心との連絡道路である。この7月22日日航のDC-8がホノルル~東京間7h16mの新記録を作ったが、こういうスピード時代に羽田から都心まで場合によると1h30mもかかるようでは困ったものである。首都高速道路公園の計画する羽田までの専用高速道路も具体的な工程はまだ明確でないようであるが、東京オリンピック頃までにぜひ完成してもらいたいものと願っている。

【東京国際空港長 岩田 勝雄】