

1. まえがき

セメント系材料の高性能化を目的として、さまざまな粒径や粒度分布を有する混和材が用いられるようになってきた。これらの混和材は、硬化後の性能だけでなくフレッシュ時の流動性等も向上させるもので、その効果のメカニズムについてのモデルも数多く報告されている。連続粒度理論や不連続粒度理論等の報告があるが、これらの研究の多くは、セメント系材料をいかに緻密な充填構造とできるかに帰着するものである。例えば、内川の研究では、セメントの粒度分布において、最密充填とできる理想的な粒度分布に不足している $2\sim 3\mu\text{m}$ 以下の微粒分をシリカフューム等の微粒子混和材で補うことで、低水セメント比での練り混ぜが可能となり、コンクリートを更に高性能化できることを指摘している¹⁾。また、最密充填を得るための粒度分布や径の異なる粒子の混合比率についての理論的検討も数多くなされている²⁾。しかしこれらの検討では、粒子形状を球形と仮定したものがほとんどであり、セメント粒子のように角張った不規則な粒子形状のものへの適用は難しいものと考えられる。

そこで本研究では、セメント粒子とシリカフューム粒子から構成された系について、最密充填となる各粉体の混合比率の評価方法を提案することを目的として、灯油中における粉体の沈降体積の実測値から混合粉体の充填率を評価する方法について検討したものである。

2. 実験概要

使用した粉体は、普通ポルトランドセメント（セメント協会調整の研究用セメント：比重 3.17, 比表面積 $3350\text{cm}^2/\text{g}$ ）およびシリカフューム（比重 2.19, 平均粒径 $0.142\mu\text{m}$ ）である。セメントとシリカフュームの混合比率は、質量比でセメント：シリカフューム=100：0, 99：1, 98：2, 97：3, 96：4, 92：8, 90：10, 80：20, 70：30, 50：50, 0：100とし、これらの混合粉体をV型混合機で30分間攪拌し、以下の沈降体積の試験に供した。

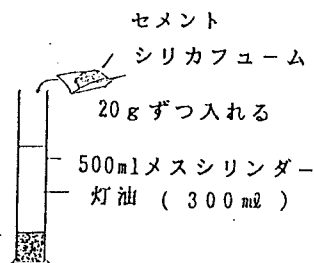


図-1 沈降体積の測定方法

混合粉体の沈降体積の測定は、図-1に示すように300ccの灯油の入った

500ccのメスシリンダーに混合粉体を20gずつ投入し、空気泡を抜くためにガラス棒で攪拌し、10分間静置後灯油上面が一定となつてから灯油上面と粉体の沈降体積を目盛りから読みとる。この操作を灯油上面と沈降高さがほぼ同一の値になるまで繰り返し、粉体の各投入量における灯油上面および沈降体積を測定することにより行った。図-2は、セメント：シリカフューム=96：4の場合における測定結果の一例を示したものである。図より粉体投入量と灯油上面および沈降体積の関係はそれぞれほぼ直線関係となり、この直線の交点すなわち、灯油上面と沈降高さが一致する点での投入した粉体の質量と沈降体積の値から、混合粉体の空隙率（空隙は灯油で満たされている）または充填率を求めた。

なお、本測定から混合粉体の比重が得られるが、この測定比重と混合率より得られる比重の差から空気泡の体積を求め、

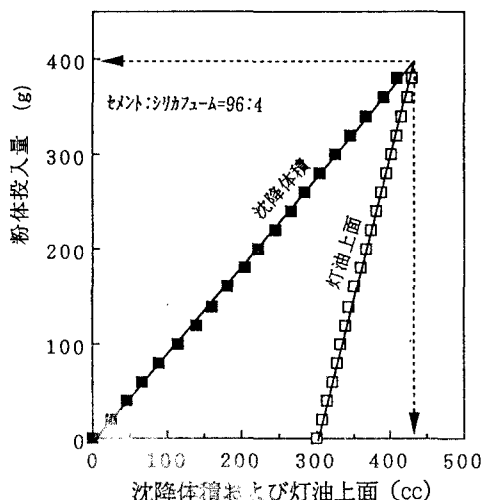


図-2 測定結果の一例

この体積分を差し引いた値より空隙率および充填率を計算した。

充填率と空隙率の関係は以下のとおりである。

$$\text{空隙率} = 1 - \text{充填率}, \quad \text{充填率} = \frac{\text{充填粉体の実体積}}{\text{沈降（みかけの）体積}} = \frac{\text{粉体の質量}}{\text{沈降（みかけの）体積} \times \text{粉体の比重}}$$

3. 結果および考察

図-3, 4は、セメント-シリカフェュームの混合比率を変えた混合粉体の投入量と灯油上面および沈降体積の測定結果を示したものである。2. で述べたように、各混合比率の場合とも粉体投入量の増加に伴ない、灯油上面および沈降体積はほぼ直線的に増加している。また、シリカフェュームの混合比率が多い場合ほど沈降体積の直線の傾きが小さくなり、灯油上面の直線との交点が粉体投入量が少ない値で現れている。これはシリカフェュームの混合比率が多いほど、混合粉体の比重が小さくなるためである。これらの結果を用い、2. の方法により各混合粉体の空隙率を算出し図-5に示した。図より、セメント-シリカフェュームの混合比率を変化させると、空隙率が最小となる混合比率が存在し、セメント：シリカフェューム=90：10または80：20の場合に空隙率の最小値、すなわち充填率の最大値が現れている。また、シリカフェュームの混合比率が多い場合、空隙率が大幅に大きくなっている。一方、シリカフェュームの混合比率が10%より小さい場合、シリカフェュームの混入による空隙率の低下は小さい。

以上、本方法によりセメント-シリカフェューム系の充填率について検討した結果、最密充填となる混合比率の範囲は、シリカフェュームの混合比率が10～20%程度の場合であり、シリカフェュームの混合比率がこの値より大きくなるとセメント単味の場
合より充填率は低下した。

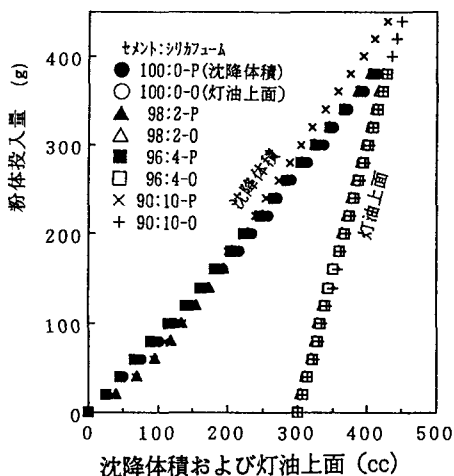


図-3 粉体投入量と灯油上面および沈降体積の関係

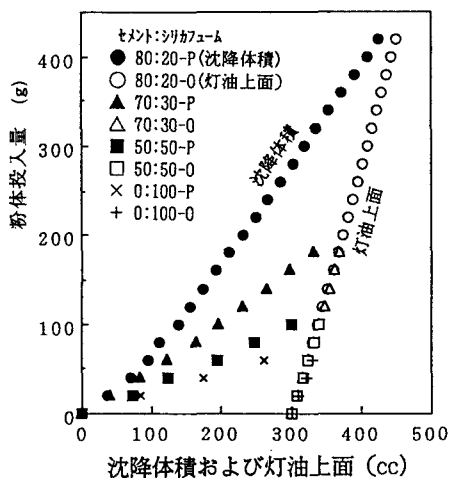


図-4 粉体投入量と灯油上面および沈降体積の関係

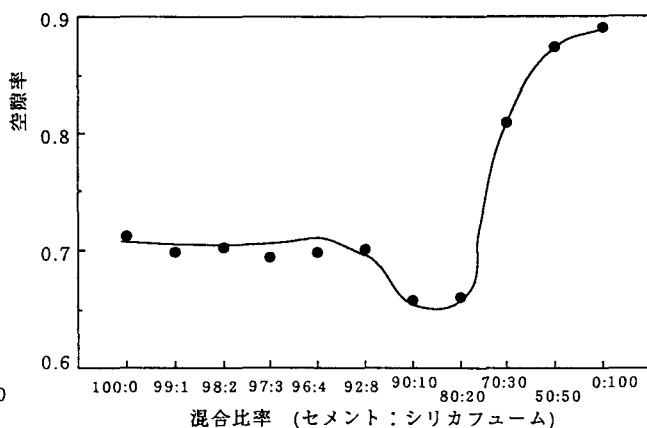


図-5 セメント-シリカフェュームの混合比率と空隙率の関係

<参考文献>

- 1) 内川 浩：わが国におけるセメント／コンクリートの将来，小野田研究報告，第42巻，第122号，1990。
- 2) 粉体工学の基礎編集委員会編：粉体工学の基礎，日刊工業新聞社，pp. 145～156，1992。