

表面改質法によるセメントの高機能化に関する研究

田 中 勲
(技術研究所)
武 高 男
(技術研究所)
鈴 木 信 雄
(技術研究所)

§ 1. はじめに

近年、コンクリート建造物の高層化、大型化、省力化に伴い、コンクリートの流動性、強度、耐久性などの性能の向上が望まれている。このために、セメントの改良、混和剤の開発、施工方法の改善などが盛んに行なわれている。特にセメントについては、粒度分布や鉱物組成などに関する多くの研究報告がある。

例えば、流動性について内川ら¹⁾は粒度分布を変化させて検討し、セメントと骨材の固体材料系の充填性が高いほど流動性が高いことを報告している。高強度について、羽原²⁾は粗骨材と細骨材が密充填し易いような粒度分布 (Fuller-Tompson 曲線) にセメントの粒度も適合するようにすれば最密充填でき、超高強度コンクリート用のセメントの開発が可能であるとしている。耐久性に関してはセメントでの検討は少ないが、岸谷の中性化速度式は、単位水量の少ない密実なコンクリートほど耐久性が高いことを示している。これらのことから、コンクリートの流動性、強度、耐久性を向上させるために、セメントと骨材からなる固体材料系の充填性を向上させることが最も重要であると考えられる。

一方、最近の粉体改質技術としてはコーティング、カプセル化、高エネルギー利用、メカノケミカル法等の技術を応用したものが開発されつつある。特に、メカノケミカルな改質 (粉体粒子自体がもつ表面活性を利用して粒子の複合化や造粒を行なうことによる改質) について小石³⁾は、10~50 μm に臨界粒子径をもつ粉体について改質を行なうことが可能であることや、ある程度粉砕が進んだ後にさらに粉砕を続けると、逆に粒径の増大 (造粒) が起きる逆粉砕現象等を報告している。

そこで、著者らはこのメカノケミカルな改質方法をセメント粒子に適用することに着目し、粒子の形状、粒度分布、付着・凝集性等の粉体特性を制御することによって、セメントコンクリートに望まれている充填性の向上やこれに伴う流動性、強度、耐久性等の性能を高めるこ

とを試みた。

本研究では、メカノケミカルな改質方法の一つである高速気流中衝撃法によりセメント粒子を改質し、改質後のセメントの粉体特性を把握するとともに、その充填性および流動性向上の効果を明らかにし、コンクリートの性能向上のための有効性について検討した。

§ 2. セメント粒子の改質の考え方

セメント粒子の改質は充填性を向上させることを主体とし、そのための方法として形状、微粉量、付着・凝集性の制御を基本的な考え方とした。

2.1 形状

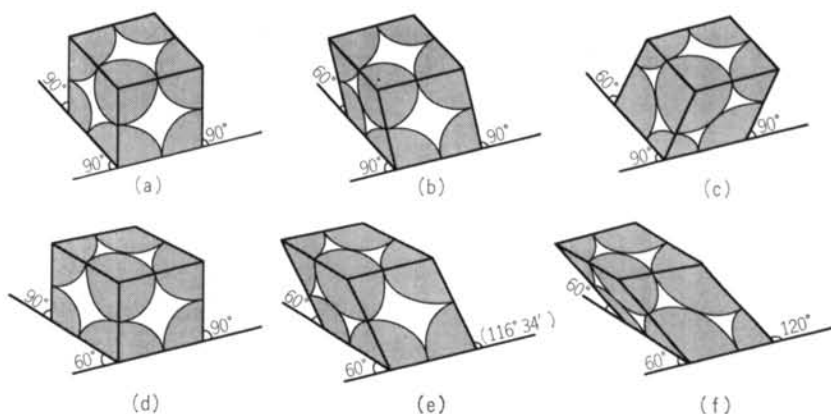
角張りのある不定形粒子よりも球形粒子の方が充填性が高いことは良く知られている⁴⁾。そこで、大きさの等しい球形粒子の充填モデルである Graton-Fraser 模型⁵⁾を図-1に示す。このときの空隙率は、理論計算で25.95%まで小さくなる。一方、実験的に振動および突固めを行なって充填すると、その空隙率は39%程度となる⁶⁾。この球形粒子をセメントと仮定し空隙に水を満たした場合、その必要量は21.2%となる。

粒径比の異なる球形粉体を混合すると、図-2に示すように大粒子が60~70%のとき空隙率に極小点が認められ、粒径比0.1以下にすれば空隙率は30%よりも小さくなり、充填性は向上する⁷⁾。

通常のセメントでは空隙率が約50%であり、これを球状のセメントに置き換えることにより、空隙の少ない最密充填構造のコンクリートが製造できるといえる。

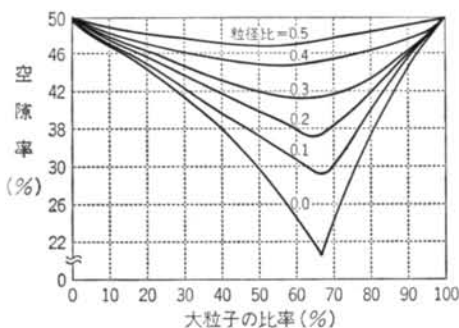
2.2 微粉量

セメントの粒度分布は通常のセメントよりも、より幅広いものの方が流動性が高くなるといわれている⁸⁾。一方、セメントのような凝集性のある粉体においては、粉



配列	単位胞の面角	接触点の数	空隙率(%)	充填の名称
(a)	90°, 90°, 90°	6	47.64	単純立方格子
(b), (d)	90°, 90°, 60°	8	39.54	斜方格子
	70° 32', 70° 32', 109° 28'	8	31.98	体心立方格子
(e)	60°, 60°, 75° 31'	10	30.19	六方格子
(c)	60°, 60°, 90°	12	25.95	面心立方格子
(f)	60°, 60°, 60°	12	25.95	面心立方格子

図一 1 Graton-Fraser 模型



図一 2 2種類の均一球形粉体の混合比率と空隙率
体の分子間力による架橋構造によって空隙率は以下の式に従う。

$$\epsilon = K(1/d)^n \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 ϵ : 空隙率
 d : 平均粒径
 K, n : 定数

したがって、セメントの粒度分布を幅広くし、充填性を向上させる方法もあるが、セメント粒子の中でも微粉による空隙の増加を低減することも一方法であるといえる。

2.3 付着・凝集性

セメントのように付着・凝集性をもつ粉体においては、粒径によって粒子同士の付着力が異なり、Cremar³⁾は

次式が成り立つとしている。

$$\log H = \beta \log(1/d) + \log C \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 H : 付着力
 d : 平均粒径

β, C : 実験で得られる定数

上記の式(1), (2)から、粒子が小さいほど凝集し易くなり、これに伴って空隙率が高くなるといえる。

また、この付着力は粉体の形状によっても左右され、Hamaker らによれば次式に示すようになる⁶⁾。

$$\bullet \text{ 球形同士の場合: } F = Ad/24a^2 \quad \dots\dots(3)$$

$$\bullet \text{ 球形と平板の場合: } F = Ad/6a^2 \quad \dots\dots(4)$$

ここで、 F : 付着力
 d : 平均粒径
 a : 粒子間距離 (<1000Å)
 A : 定数 ($10^{-13} \sim 10^{-12}$ erg)

すなわち、球形同士では、球形—平板の場合よりも粉体の付着力が1/4以下となる。これに比べて、普通セメントの形状は平板同士であるため、より大きな付着力を呈するといえる。したがって、セメントの付着力を低減するためには、球形の方が有利である。

これらのことから、セメントの充填性を高くするための方法として、①球形にして最密充填構造にする、②球形化処理や微粉の減少により粉体の付着・凝集力および空隙を低減することなどが提案できる。

§ 3. セメントの改質実験

3.1 実験方法

3.1.1 使用材料

改質のための原料には、普通ポルトランドセメント市販品をそのまま使用した。モルタル用骨材は、豊浦産標準砂および小笠産陸砂とし、練り混ぜ水は水道水を使用した(以後、普通ポルトランドセメントを普通セメント、改質処理後のセメントを球状化セメントと略記する)。なお、表-1に使用骨材の特性を示す。

3.1.2 改質方法

セメントの改質には、高速気流中衝撃法⁷⁾を使用した。この方法は、粉体を高速気流中で攪拌混合することにより、粉体粒子表面に強い機械的エネルギーを与え、粉砕と同時に大粒子表面に小粒子を付着固定化する粉体の表面改質方法である。使用した装置(乾式粒子複合化装置)の内部の模式図を図-3に示す。なお、改質方法は最近開発された他の2つの方法⁷⁾(機械化学的表面融合法、高速回転式微粉砕法)も同時に検討し、その球状化の程度、微粉量の減少、充填性の向上の効果等を比較したうえで選定した。

3.1.3 粉体特性および流動性の評価方法

改質前後のセメントについて、表-2に示す評価実験を行ない、その特性を調べた。

骨材の種類	最大径(mm)	吸水率(%)	比重
豊浦産標準砂	0.3	0.60	2.63
小笠産陸砂	5.0	1.48	2.59

表-1 使用した骨材の性質

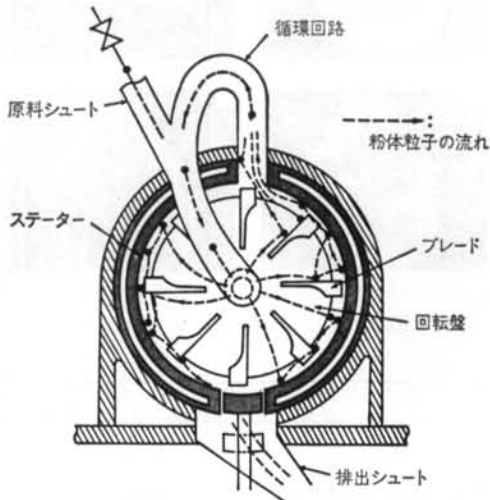


図-3 改質装置(乾式粒子複合化装置)の模式図

3.2 結果および考察

3.2.1 球状化セメントの生成メカニズムと基礎性状

1) 生成メカニズム

実験項目	方 法
粉体特性	粒子形状 走査型電子顕微鏡による観察後、これを画像処理し、次式により求めた球状度 ¹⁾ により評価した。なお、真球の値は1である。 球状度 = $4\pi S/L^2$ ただし、S: 投影像の面積 L: 投影像の周長
粒度分布	試料をメタノール中で分散後、レーザ回折型粒度分布測定装置により測定した。また、このデータをもとにRosin-Rammler式から傾きN値を求め、粒度分布の広がり进行评估した。
微粉量	粒度分布の測定結果より、3 μ m以下の粒子重量を全体に対する微粉量(%)として算出した。
充填性	疎充填および密充填状態でのかさ密度をタップ式かさ密度測定装置により測定し、評価した。密充填のタップ回数は2500回、または180回とした。骨材との混合系では、標準砂の場合セメント:骨材=1:2、小笠砂の場合セメント:骨材=1:3の重量比で混合後、測定を行なった。
付着力指数	かさ密度の試験データをもとに、以下の式により算出した。 $\frac{N}{C} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a}N$ ここで、N: タッピング回数 C: かさべり度 1/b: 付着力指数 1/a: 流動性指数
表面性状	比表面積 JIS R5201に準じてブレン法により測定した。
	ゼータ電位 水100 ml中に試料100 mgを超音波分散させた後10分間攪拌し、電気泳動型ゼータ電位測定装置により20℃での電位を測定した。
	粒子断面の元素分析 試料を樹脂に埋設後研磨し、その断面をX線マイクロアナライザを用いて分析した。
	混和剤の飽和吸着量 セメント水懸濁液にナフタリン系高性能減水剤(MT-150)の濃度を変化させて加え、その後遠心分離を行ない、上澄液中の混和剤量を紫外線分光光度計により測定し、算出した。
流動性	フロー値 JIS R5201に準じてフロー試験を行なった。水セメント比は0.55とし、小笠砂を用いた場合セメント:骨材=1:3とした。なお、ペーストについては直径5 cmのフローコーンを使用し、水セメント比は0.45とした。

表-2 実験項目とその方法

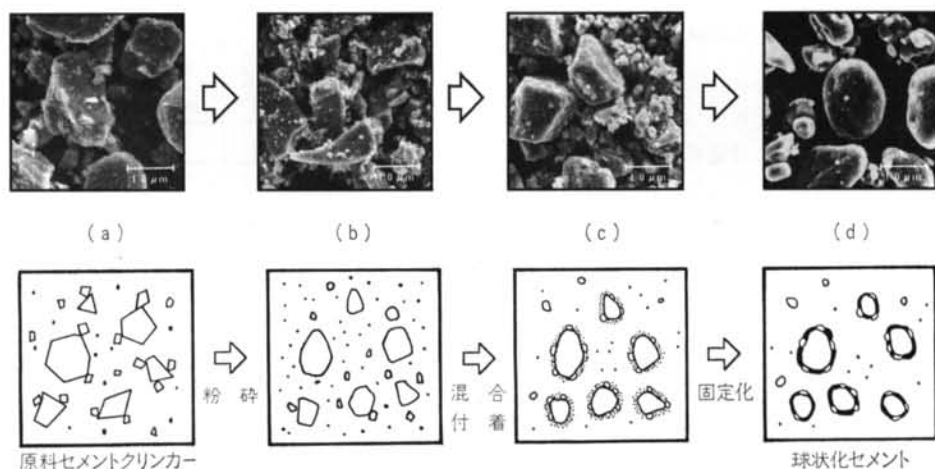


図-4 球状化セメントの生成メカニズム

図-4に、改質過程におけるセメント粒子の状態の変化について、電子顕微鏡によって観察した結果と模式図を示す。

改質処理を行なう前のセメントは角張りがあり、短長径比の大きなものである。また、大粒子表面の微粉や、微粉同士が付着・凝集していることが分かる(図-4(a))。処理の初期には大粒子が粉碎され、粒子表面の摩擦により微粉が増加する(図-4(b))。さらに処理を進めると、大粒子表面に微粉が付着する(図-4(c))。粒子表面への機械的な打撃により微粉は固定化される。これにより、改質処理前よりも粒子は丸みを帯び、大粒子と微粉が減少し、粒子は単分散化してくる。また、微粉が少ないため凝集している部分がなく、分散状態の良いことが観察される(図-4(d))。

なお、これ以上改質処理を行なっても、以後変化がない状態が続くことから、この時点で改質処理が終了していると判断される。

2) 粉体特性

表-3に、改質処理前後のセメントの粉体特性を示す。改質前に比較し、球状化セメントは球状度が0.67から0.85となり、粒子が丸みを帯びていることが分かる。また、 $3\mu\text{m}$ 以下の微粉も14.2%から9.0%に減少し、当初の目的である球状化と微粉の減少が可能であることが確認できる。この変化に伴い付着力指数は小さくなり、粒子同士の付着・凝集性が低減している。また、かさ密度(疎充填および密充填)も処理前よりも大きくなり、充填性が高くなっている。

これらのことから、改質処理の目的である充填性向上の効果が期待どおり粉体特性に現われている。なお、粒度分布の幅の指標であるN値は大きくなり、粒度分布の

項目	種類	球状化セメント	普通セメント
	球状度		0.85
3 μm 以下微粉量(%)		9.0	14.2
平均粒径(μm)		11.34	13.46
付着力指数		31.74	37.82
Rosin-Rammler 式の傾きN値		1.18	0.97
かさ密度(g/cm ³)	疎充填	1.19	0.98
	密充填	1.91	1.86

表-3 球状化セメントの粉体特性

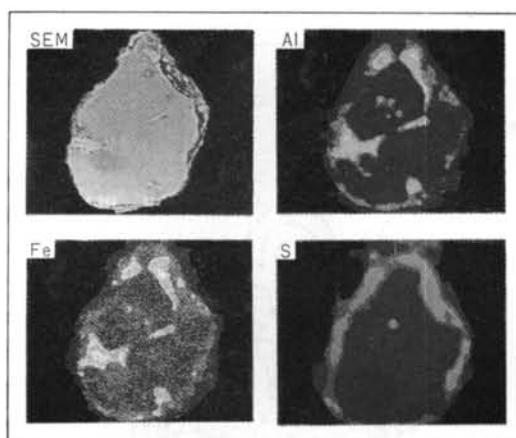


図-5 球状化セメント粒子断面の元素分析結果

項目	比表面積 (cm ² /g)	ゼータ電位 (mV)	混和剤飽和吸着量 (mg/g)
球状化セメント	2698	+3.42	5.5
普通セメント	3360	-1.13	16.2

表-4 セメント粒子の表面性状

幅が狭くなることが認められた。

3) 粒子表面の性状

図-5に、球状化セメントの粒子断面の元素分析結果を示す。また、表-4に比表面積、混和剤飽和吸着量およびゼータ電位の測定結果を示す。

(a) 化学組成

図-5に示すように、球状化セメントの表面部分にはAl, Fe, Sが偏在している。これは、粉碎され易い間隙質成分や石膏に起因するものであり、改質処理により優先的に粉碎され、大粒子表面に付着固定化されたものと判断される。

また、間隙質成分のゼータ電位は(+)であるが⁹⁾、表-4に示す球状化セメントのゼータ電位も(+)になっていることから、間隙質の付着が確認できる。

(b) 比表面積・混和剤吸着量・ゼータ電位

表-4に示すように、球状化セメントは粒子の球状化と微粉の減少により、普通セメントよりも表面積が20%程度減少し、水和に必要な水量の低減が期待できる。また、混和剤飽和吸着量は普通セメントに比較し66%程度減少している。これは、比表面積が減少したこと、および混和剤を優先的に吸着するといわれている間隙質成分

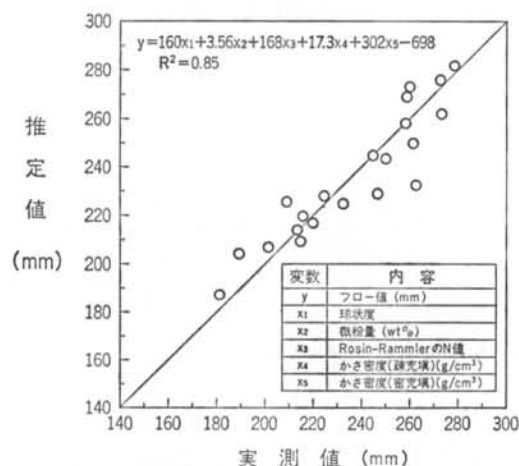


図-6 フロー値の推定結果(重回帰分析)

	球状度		微粉量		N 値		かさ密度(疎充填)		かさ密度(密充填)	
微粉量	-0.226		微粉量							
N 値	0.339	-0.852	N 値							
かさ密度(疎充填)	0.247	-0.741	0.610	かさ密度(疎充填)						
かさ密度(密充填)	-0.159	-0.394	0.195	0.773	かさ密度(密充填)					
フロー値	0.475	-0.686	0.777	0.783	0.491					

表-5 単相関係数表

が粒子表面に付着固定化し(埋設されたような状態となったために)、間隙質の表面積が減少したことなどによるものと考えられる。

さらに、球状化セメントはゼータ電位の絶対値が3.42と大きく、分散性の高いセメント粒子になっていることが推察される⁹⁾。これらのことから、改質処理によってセメントの表面性状が著しく変化し、W/Cの減少や混和剤量の削減などの効果が期待できる。

3.2.2 粉体特性と充填性および流動性との関係

1) 流動性に及ぼす要因効果

セメントを改質した効果を明らかにするため、モルタルフロー値を目的変数とし、処理条件の異なるセメントの球状度、微粉量、Rosin-Rammlerの傾きN値、疎充填のかさ密度、密充填のかさ密度をそれぞれ説明変数として重回帰分析を行ない、回帰式と各々の相関について検討した。この結果をそれぞれ図-6、表-5に示した。

求めた重回帰式およびフロー値の実測値と推定値の関係は、寄与率0.85であり、ドットの分布状況からこの回帰式の精度は比較的高いことが分かる。フロー値に対する相関係数とその符号から、①かさ密度が大きいほど、②N値が高いほど、③微粉が少ないほど、④球状度が高いほどフロー値が大きく流動性が良いといえる。

これは、改質処理によりセメントの充填性が高くなったこと、大粒子の粉碎と微粉の付着・造粒により粒度分布の幅が狭くなること、また形状が角張りのある形から丸みを帯びてきたためといえる。

一般に、セメントの粒度分布の幅は広いほうが充填性が高く流動性が良いといわれているが、この結果は反対の傾向を示している。これは、モルタルの流動性に対して球状度の増加や微粉の減少が、セメントの粒度分布よりも影響が大きいことを示している。

そこで、形状、粒度分布、微粉量等の影響について、より詳細な検討を以下に行なった。

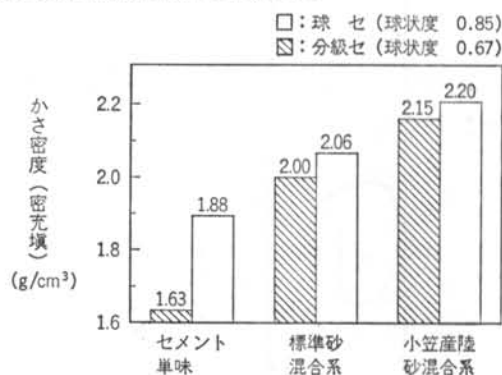


図-7 球状度とかさ密度の関係

2) 球状化による効果

粒子形状のペーストおよびモルタルの流動性に対する影響を調べるために、普通セメントを球状化セメントと同じ粒度分布に調整したセメント（以後、分級セメントと記す）を試作し充填性とフロー値の比較を行なった。すなわち、分級セメントは球状化セメントと同じ粒度分布をもち、球状度（球状化セメント0.85、分級セメント0.67）のみが異なるセメントである。

(a) 球状度と充填性

図-7に、セメント単味および骨材との混合系におけるかさ密度を示す。かさ密度は、分級セメントよりも球状化セメントの方が大きく、セメント単味で $0.25\text{g}/\text{cm}^3$ （約15%）、砂との混合系で $0.05\text{g}/\text{cm}^3$ 程度（約2~3%）増加した。これにより、粒子を球状にすることが系の充填性向上に有効であるといえる。

一般に、粉体粒子の空隙率は2.2で示した式(1)で求められる。普通セメントの場合、 $k=1.01$ 、 $n=0.290$ である。これより、球状化セメント（平均粒径 $11.34\mu\text{m}$ ）の空隙率を算出すると約50%となる。一方、かさ密度の実験データからの球状化セメントの計算値は約40%となり、球状化セメントは10%程度密に充填することが確認できる。

(b) 球状度と流動性

図-8にペーストおよびモルタルのフロー値を示す。

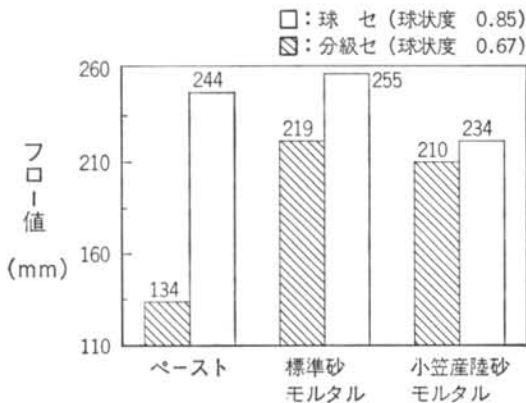


図-8 球状度とフロー値の関係

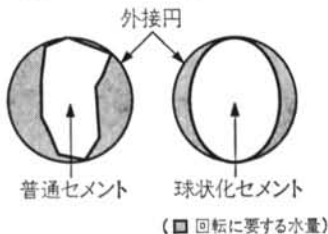


図-9 回転に要する水量の比較

球状度のみが異なる2種類のセメントのフロー値は、ペーストで108mm（約80%増加）、標準砂モルタルで36mm（約16%増加）、小笠砂モルタルで24mm（約11%増加）と、分級セメントよりも球状化セメントの流動性が増大した。

次に、セメント粒子1個が水中で自由に回転しようとする際に要する水量の算出を試みた。計算の根拠となる概念を図-9に示す。算出は、SEM写真の観察により球状度が0.7以下の普通セメントと、0.8前後の球状化セメントの各々標準的な粒子を選択して観察し、2次元レベルで以下の式に従って行なった。

$$S_0 = (S - S_1) / S_1 \quad \dots\dots(5)$$

$$S_2 = (S - S_2) / S_2 \quad \dots\dots(6)$$

- ここで、 S_0 : 普通セメント粒子が回転するとき
に要する水量に相当する面積/粒子の
断面積
 S_2 : 球状化セメント粒子が回転するとき
に要する水量に相当する面積/粒子
の断面積
 S : 粒子に外接する円の面積

□: 普セ (微粉量 14.20%)
▨: 分級セ (微粉量 9.00%)

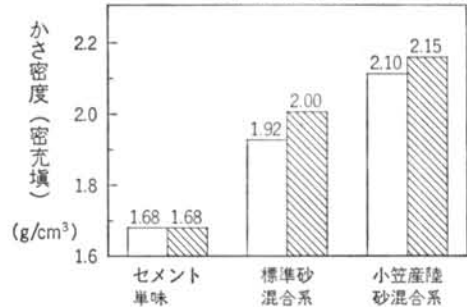


図-10 微粉量とかさ密度の関係

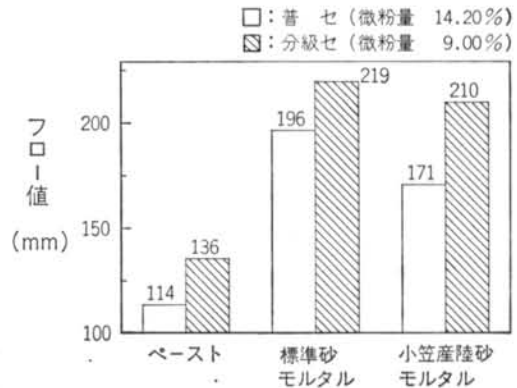


図-11 微粉量とフロー値の関係

S_1 : 普通セメント粒子の断面積

S_2 : 球状化セメント粒子の断面積

これによると、 S_0 、 S_2 の平均値は各々約1.07、0.41となり、粒子断面で考えた場合、粒子が回転するためには普通セメントは約同面積の水が必要なのに対して、球状化セメントは粒子面積の1/2以下の水量で回転が可能といえる。

これらのことから、セメント粒子の形状を丸くすることは、充填性および流動性の向上に対して効果が高いといえる。

3) 微粉量の減少による効果

粒度分布および微粉量が、ペーストおよびモルタルの流動性にいかん影響するかを調べるために、分級セメントと普通セメントのかさ密度とフロー値の比較を行なった。なお、分級セメントは普通セメントに比べて $3\mu\text{m}$ 以下の微粉と、 $40\mu\text{m}$ 以上の大粒子を除去した粒度分布の幅のシャープなセメントである。

(a) 微粉量と充填性

図-10に、セメント単味および砂との混合系におけるかさ密度の測定結果を示す。分級セメントのかさ密度は普通セメントに比べ、セメント単味の場合は同程度であり、骨材との混合系では2~4%増加した。一般に、粉体は連続粒度からなる粒度分布の幅が広い系ほど充填性が大きく、セメントの場合N値が1~2の範囲で、その値の減少とともに充填性は向上するといわれている²⁾。分級セメントの値は約1.2であり、普通セメントの0.97に比べて大きいにもかかわらず、充填性がモルタルで2~4%増加しているのは微粉量の減少が関与していると考えられる。§2で述べたように、一般に微粉は付着・凝集性を大きくするが、特にセメントの場合 $3\mu\text{m}$ 以下の微粉が顕著に影響することが報告されている⁹⁾。分級セメントは、 $3\mu\text{m}$ 以下の微粉が普通セメントよりも5.2%少ない。このことが粒子間の付着・凝集性を低減し、充填性の向上に寄与しているものと推察される。

(b) 微粉量と流動性

図-11にペーストおよびモルタルのフロー値を示す。普通セメントに比べて、分級セメントのフロー値はペーストで22mm、モルタルで20~40mmと10~20%増大した。したがって、フロー値に対しても $3\mu\text{m}$ 以下の微粉を少なくすることが効果的であるといえる。また、 $3\mu\text{m}$ 以下の微粉は水和活性が高いといわれているが⁹⁾、球状化セメントはこの微粉が少ないため、初期の水和が小さくなることも流動性の向上の一因子になっている。

以上より、付着・凝集性の大きな粉体粒子で、しかも水和反応を伴うセメント粒子のような場合、その充填性

および流動性を向上させるためには $3\mu\text{m}$ 以下の微粉量を減少させることの方が、粒度分布の幅を広くすることよりも効果が大きいと考えられる。

3.3 まとめ

本実験により、球状化セメントの粉体特性を主として充填性と流動性の観点から検討し、以下の結論を得た。

(1)高速気流中衝撃法による球状化セメントの生成メカニズムは、処理の初期における粒子の粉砕と、このときに生じた微粉の大粒子表面への付着、固定化によるものである。この現象によって、 $40\mu\text{m}$ 以上の大粒子の消失と $3\mu\text{m}$ 以下の微粉の減少が生じ、粒度分布の幅が狭くなる。

(2)球状化セメントは、普通セメントに比べて球状度が0.67から0.85まで向上し、 $3\mu\text{m}$ 以下の微粉量は14.2%から9.0%まで減少する。この結果として粒子同士の付着・凝集力が小さくなり、充填性が向上する。

(3)球状化セメントの流動性は、充填性の向上に伴い大幅に向上する。この流動性は、かさ密度が大きいほど、粒度分布の幅が狭いほど、微粉が少ないほど、球状度が高いほど大きくなる。

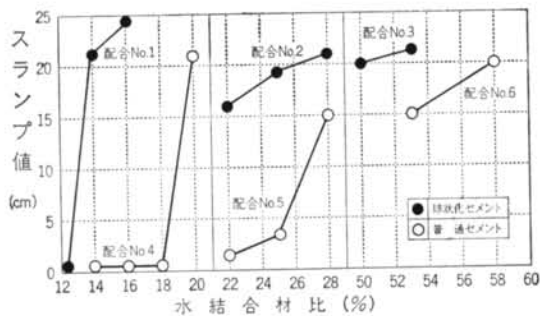
(4)セメント粒子の流動性を向上させるためには、粒子の球状化に加えて微粉部分(付着・凝集力大、水和活性大)を減少させることの方が、粒度分布の幅を広くすることよりも効果が大きい。なお、比表面積の減少およびゼータ電位の変化も、流動性向上に寄与している。

§ 4. 球状化セメントを用いたコンクリートの性状

§3で示したように、球状化セメントは充填性と流動性に優れることが認められた。そこで、この球状化セメントを使用したコンクリートの性状について検討を行なった。

4.1 フレッシュコンクリートの流動性

図-12に、コンクリートの練り混ぜ直後の水結合材比とスランプ値の関係を示す。球状化セメント使用コンクリートは、普通セメントを使用した場合に比べて同一水結合材比でスランプ値が大きく、モルタル同様に良好な流動性を示した。また、同一スランプ値を得るためには水量を水結合材比でおよそ6~10%、単位水量で9~30%減少させることが可能である。



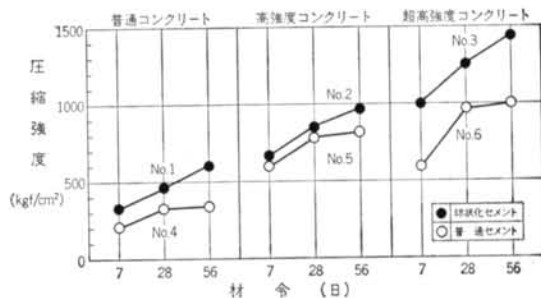
配合No.	セメントの種類	単位セメント量 (kg/m ³)	W/C (+SF) (%)	S/a (%)	混和材料 (kg/m ³)		空気量 (%)
					Ad.	SF	
1	球状化セメント	517	12~16	37	23.0	58	1.0
2		512	22~28	39	8.2	-	1.0
3		305	50~53	40	2.3	-	4.0
4	普通セメント	517	14~20	37	23.0	58	1.0
5		512	22~28	39	8.2	-	1.0
6		305	53~58	40	2.3	-	4.0

図-12 水結合材比とスランプ値の関係

4.2 圧縮強度および耐久性

図-13に、同一スランプ値となるように配合した各種コンクリートの材令と圧縮強度の関係を示す。球状化セメントを使用したコンクリートの圧縮強度は、普通、高強度、超高強度のいずれの配合のコンクリートにおいても普通セメントを用いた場合を10~50%上回った。球状化セメントを使用すると、普通強度の配合で高強度コンクリートの圧縮強度(600kgf/cm²程度)を、また高強度の配合で普通セメントの超高強度コンクリートの圧縮強度(1000 kgf/cm²程度)を発現することができる。このことから、球状化セメントを用いるとセメント、シリカフェウム、化学混和剤の使用量を低減できると予想される。また、超高強度コンクリートの場合には7日で1000 kgf/cm²、56日で1400 kgf/cm²の強度が得られた。このことから、球状化セメントは普通セメントでは強度発現が困難といわれている強度領域(1600 kgf/cm²)の発現を可能にすると考えられる。なお、以上のような球状化セメントの高強度な特性は、水セメント比の低減効果が主な理由と推察される。

また、普通強度の配合での球状化セメントの耐久性を考えた場合、岸谷式¹⁰⁾に W/C=45% を代入すると、1 cmの深さまで中性化するのに70年以上必要という試算結果となり、耐久性の高いコンクリートとしても期待できる。



配合No.	セメントの種類	単位セメント量 (kg/m ³)	W/C (+SF) (%)	S/a (%)	混和材料 (kg/m ³)		スランプ (cm)	空気量 (%)
					Ad.	SF		
1	球状化セメント	310	45	49	3.1	-	19	5.8
2		492	27	45	6.0	-	21	1.0
3		517	14	37	23.0	58	21	1.0
4	普通セメント	310	52	49	3.1	-	19	5.8
5		492	32	45	6.0	-	21	1.0
6		517	20	37	23.0	58	21	4.0

図-13 コンクリートの圧縮強度

§ 5. おわりに

コンクリートの流動性、強度、耐久性を向上させることを目的として、メカノケミカル的な表面改質技術に着目し、セメントの改質を行なった。この結果、セメントの球状度、微粉量等の粉体特性をコントロールすることで、セメントと骨材からなる固体材料系の充填性を向上させることができた。この充填性の向上によって、モルタルやコンクリートの流動性、強度、耐久性を向上させることが可能であることも確認した。

今後は、球状化セメントの実用化に向けてさらに検討を進める予定である。

謝辞 本研究の遂行に当たっては、東京理科大学基礎工学部 小石真純教授、本田宏隆氏から表面改質等についての御指導を頂きました。また、実験および解析に際しては、小野田セメント株式会社・コンクリート研究所 一家惟俊所長、宇智田俊一郎所長代理、小野義徳主席研究員、生産技術研究所 尾花博主席研究員をはじめ研究所の方々および株式会社 藤田智治君、加藤祐次君、坂本高太郎君に御協力を頂きました。末筆ながら、感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 内川, 他: “まだ固まらないセメントペースト, モルタル及びコンクリートの流動性に及ぼすセメントの粉末度及び粒子組成の影響” セメント・コンクリート論文集 No. 43 (1989年) pp. 42~47
- 2) 羽原: “低水セメント比の限界と高強度コンクリート用セメントの可能性” 月刊生コンクリート Vol. 9, No. 11 (1990年) pp. 92~107
- 3) 小石: “メカノケミカル法を利用した粉体/粉体系複合素材の調製” 粉体工学会誌 Vol. 24, No. 1 (1987年) pp. 18~23
- 4) 鈴木, 他: “粉体充填層の空隙率におよぼす粒子形状の影響” 第21回粉体工学会夏期シンポジウム講演集 (1985年) pp. 20~24
- 5) 川北, 他: “粉体工学 (基礎編)” 槇書店 (1981年)
- 6) 井伊谷, 他: “粉体工学ハンドブック” 朝倉書店 (1965年) p. 130
- 7) 小石, 他: “微粒子設計” 工業調査会 (1987年)
- 8) 名和, 他: “せっこう形態がセメントの流動性に及ぼす影響” セメント技術年報 No. 41 (1987年) pp. 46~49
- 9) 内田: “流動性に及ぼす微粉の影響” セメント・コンクリート論文集 No. 43 (1989年) pp. 48~53
- 10) 日本建築学会編: “高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針 (案)・同解説” 日本建築学会 (1991年) p. 73

