

論文 高強度コンクリートモルタルの配合組成に関する研究

竹下治之*1・松原三郎*2・阿部和幸*3

要旨：本研究は、高強度コンクリートや高流動コンクリートを対象に、これらの品質に影響する基本的問題である、骨材、セメント、混和材などの粉体の粒度や容積の決定方法に関するものである。本研究では、このうち高強度コンクリートを取り上げ、この基本的問題である砂の粒度と容積、ならびにセメントペーストの水セメント比がフレッシュ状態および硬化状態の特性に及ぼす影響について実験的に検討した。その結果、砂の粒度、容積比および実積率、ならびに水セメント比などが、モルタルのフロー、粘度、空気量および圧縮強度に及ぼす影響を明らかにすることができた。

キーワード：配合、高強度コンクリート、モルタル、フロー、圧縮強度

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の大規模化、高度化、高性能化などにもない、高強度コンクリートや高流動コンクリートなどの適用機会が増加している¹⁾。これらのコンクリートにおいては、水量をできる限り少なくしてコンクリートのフレッシュ状態および硬化状態の両方の品質を向上させることが必要である。これらの両方の品質に影響する基本的問題として、骨材、セメント、混和材（石灰石微粉末、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェームなど）などの粉体の粒度や容積をどのように決定すればよいかという問題がある²⁾。特に、これらの粉体の中でも基本的材料である骨材の粒度や容積が、コンクリートのフレッシュ状態や硬化状態の品質に及ぼす影響を明確にすることは、今後高強度コンクリートや高流動コンクリートの材料として各種の粉体を活用していくうえで極めて重要であるが、これらについての情報は必ずしも十分とは言えない状況にある。¹⁾

従って、本研究では、このような問題の基礎的研究として、まず高強度コ

ンクリートのモルタルを対象に、砂の粒度や容積がモルタルのフレッシュ状態や硬化状態の特性に及ぼす影響について実験的に検討したものである。実験では粗目、標準、細目と3種類の骨材を使用し、砂の粒度や容積の違いがモルタルの特性に及ぼす影響を明らかにした。

2. 実験概要

2.1 実験内容

表-1 に実験要因と水準を示す。高強度コンクリート用モルタルとして、水セメント比(W/C) 28, 35, 42%の3種類、使用骨材として、後述するように粗目、標準、細目の3種類、およびモルタル中に占める砂の割合(砂

表-1 実験要因と水準

要因	水準
水セメント比 (%)	28, 35, 42
骨材の粒度	粗目, 標準, 細目
砂容積比 (%)	(0), (35), 40, 45, 50, (55)

注：() 内の砂容積比は標準砂の場合のみ実施

表-2 使用材料

セメント C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16
細骨材 S1	FM=3.00 密度 2.56 吸水率 1.21%
細骨材 S2	FM=1.10 密度 2.50 吸水率 2.49%
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系

*1 高松工業高等専門学校教授 建設環境工学科 工博(正会員)

*2 高松工業高等専門学校助手 建設環境工学科

*3 (株) エム・テック

容積比)として、40、45、50%の3種類に変化させた。なお、対象とした砂の粒度範囲は、実際の適用の場合およびその影響度をより明確にするために選んだものであり、選定した砂容積比は、一般の高強度コンクリートモルタルの砂容積比が約45%程度であることを考慮して決定したものである。

2.2 使用材料

使用材料を表-2に示す。実験に使用した3種類の砂の粒度は、表-3に示すように2種類の砂の混合比を変えて調整した。同表には、粗粒率および実積率も示す。これらの使用した混合砂の粒度曲線を図-1に示す。

2.3 配合

配合は、各水セメント比および砂容積比に対して、空気量4%と仮定し決定した。なお、各水セメント比および使用砂ごとに、基準となる砂容積比45%のモルタルの軟らかさは、実用の高強度コンクリートの平均的な値として、フロー試験におけるフローが 200 ± 20 mmとなるように、高性能AE減水剤で調整した。そして、他の砂容積比の配合については、セメント量に対し同じ添加割合で高性能AE減水剤を使用した。

2.4 練混ぜ方法

練混ぜは、ホバート型強制練りミキサーを用いて、細骨材とセメントを投入後空練り1分、その後水と高性能AE減水剤を投入後本練り3分を行った。

2.5 養生方法

硬化状態の強度試験用供試体は、 $5\phi \times 10$ cmのモールドに採取して、 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の水槽で28日養生後、高強度であることを考慮し、両端面を研磨して試験を行った。

2.6 試験項目および試験方法

フレッシュ状態の試験として、フロー試験、粘性試験および空気量測定試験を実施した。これらは、それぞれJIS R 5201、回転円筒式粘度計および10のモルタル用エアメータを用いてJIS A 1128に準じて行った。なお、フ

ロー試験では、フローコーンを引き上げた時の0打時のフロー(0打フロー)と15打時のフロー(15打フロー)を測定した。また、硬化状態の試験として、JSCE-G 505に従って圧縮強度試験を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ状態の試験

(1) 高性能AE減水剤の使用量

図-2に、各水セメント比に対して基準となる砂容積比45%のモルタルに使用した骨材の

表-3 使用砂の性質

砂の種類	混合比 (S1 : S2)	粗粒率 (FM)	実積率 (%)
粗目	1 : 0	3.00	63.8
標準	1 : 0.25	2.62	66.4
細目	1 : 0.67	2.24	65.0
S2のみ	0 : 1	1.10	56.1

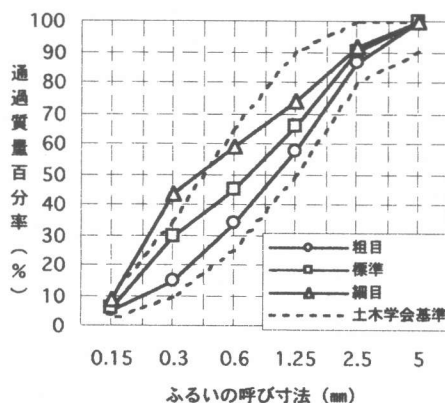


図-1 使用砂の粒度曲線

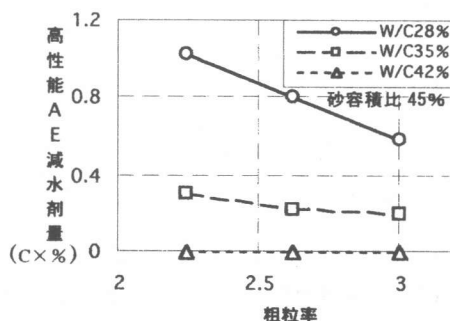


図-2 高性能AE減水剤の使用量

粗粒率 (FM) と高性能 AE 減水剤量の関係を示す。水セメント比 42% においては、使用水量が多いため高性能 AE 減水剤は必要としなかった。図から、FM の増大とともに使用量はほぼ直線的に減少し、その変化率は水セメント比が小さい程大きくなる。低水セメント比の場合、粗目の砂を利用した方が使用量が少なく済み、経済的には好ましい。

(2) フロー

図-3 に標準砂を用いた場合の砂容積比とフローの関係を示す。各水セメント比とも砂容積比の増大とともにフローは減少し、その減少率は、水セメント比が小さくなる程大きくなる。同図に 0 打フローも示すが、水セメント比が 28% の場合は、他のものに比べ 0 打と 15 打フローは差が小さいが、これはセルフレベリング性が高いことを示しているものと考えられる。

図-4 に 3 種類の砂を用いた場合の砂容積比とフローの関係を示す。砂容積比が 40~50% の範囲においては、両者の間にはほぼ直線関係が認められる。同図から、これらの直線の勾配、すなわちフロー変化率を求め、これと水セメント比の関係を示すと図-5 のようである。同図から、水セメント比が小さくなる程、フローに及ぼす砂容積比の影響がより顕著になることが分かる。また、各水セメント比ともほぼ粗目から細目、すなわち砂の FM が小さくなる程、砂容積比の影響が大きくなる傾向にあることが分かる。従って、フローから判断すると、低水セメント比の高強度コンクリートモルタルになる程、砂容積比の決定に慎重さが要求され、砂の粒度は粗目の方が幾分よいと言える。

(3) 粘度

図-6 に粘度とフローの関係を示す。水セメント比が 35, 42% では、粘度がフローに及ぼす影響は少ないが、水セメント比が 28% ではかなり大きく、粘度の増加に伴い、フローはほぼ直線的に減少する。従って、このような低水セメント比のモルタルにおいては、粘度を低下

させることによりフローを増大、すなわち施工性の向上を図れるものと考えられる。

なお、砂容積比が増大すると粘度は上昇し、特に低水セメント比になる程顕著になることが

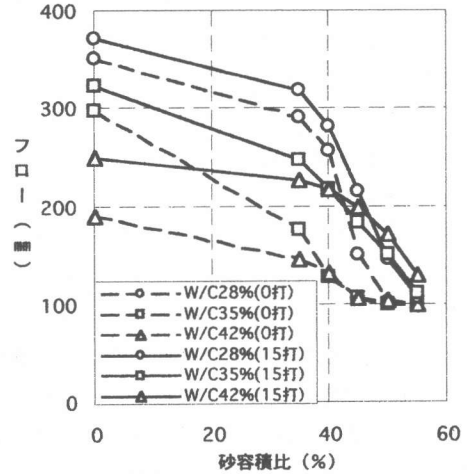


図-3 標準砂における砂容積比とフローの関係

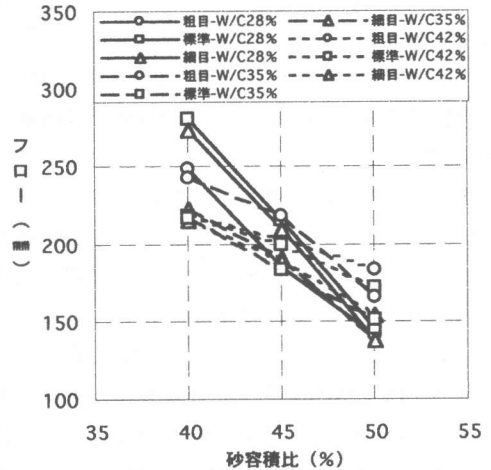


図-4 砂容積比とフローの関係

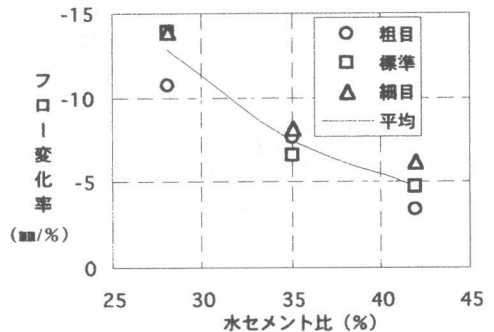


図-5 水セメント比とフロー変化率の関係

認められた。

(4) 空気量

図-7 に砂容積比と空気量の関係を示す。各水セメント比および砂においても、砂容積比が増加すると空気量は増加する傾向にあることが分かる。なお、砂の粒度の違いによる空気導入の差異は認められなかった。

3.2 硬化状態の試験

(1) 圧縮強度

図-8 に標準砂を用いた場合の砂容積比と圧縮強度の関係を示す。各水セメント比とも、砂容積比が増加するとともに圧縮強度は減少した。しかし、その減少の程度は水セメント比の違いにより微妙に変化した。すなわち、水セメント比が 28% では、砂容積比が 35% までは圧縮強度はほとんど低下しないのに対し、それ以上ではかなり大きく減少した。一方、水セメント比が 35 および 42% では、砂容積比が 35% ではかなり低下したが、それ以上では圧縮強度の減少は比較的少なく、一部では増加する傾向も認められた。

図-9 に各種の砂を用いた場合の砂容積比と圧縮強度の関係を示す。同図から、砂の粒度および水セメント比の違いによって、砂容積比の影響が異なることが分かる。すなわち、水セメント比が 28% においては、いずれの砂の場合も砂容積比の増加とともに圧縮強度が減少するのに対し、水セメント比が 35 および 42% においては、標準では増加する一方で、粗目および

び細目では減少した。

図-10 にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。同図から、水セメント比の変化に伴う圧縮強度の変化率を求め、この変化率と各砂の FM の関係を示すと図-11 のようである。図-10 から、セメント水比と圧縮強度の間にはほぼ直線関係があり、さらに、図-11 から、その直線の

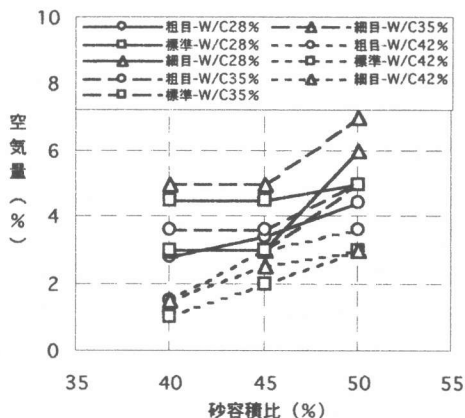


図-7 砂容積比と空気量の関係

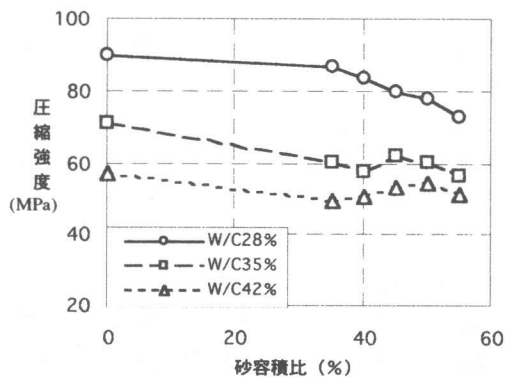


図-8 標準砂における砂容積比と圧縮強度の関係

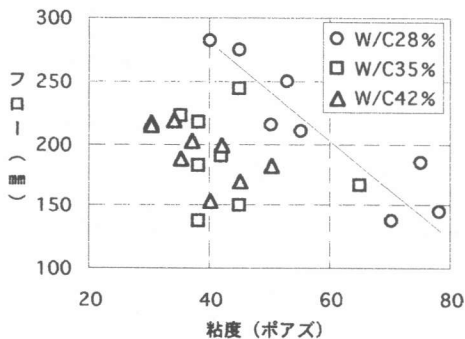


図-6 粘度とフローの関係

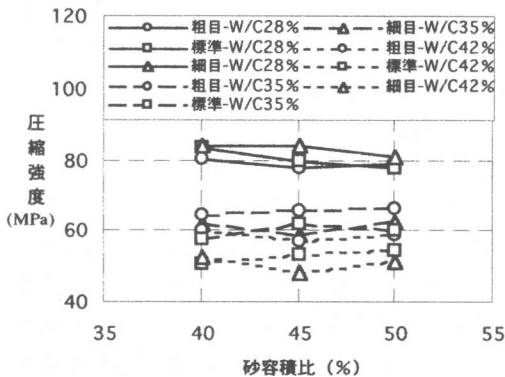


図-9 砂容積比と圧縮強度の関係

変化率と砂の FM との間にはほぼ直線関係があることが分かる。これらの図から、砂の粒度が細目になる程、セメント水比の変化に伴う圧縮強度の変化も大きくなり、さらに、セメント水比によって砂の粒度の違いによる圧縮強度に対する優位性は変化することが分かる。すなわち、圧縮強度の点からは、水セメント比が 28、35、42% に対しては、それぞれ細目・標準・粗目、粗目・細目・標準、粗目・細目・標準の順に優位となった。

一方、図-10 から、各セメント水比ごとに砂の粒度や容積比の変化に伴う圧縮強度の変動係数を調べると、水セメント比が 28、35、42% に対して、それぞれ 3.0、4.5、7.0% となり、低水セメント比になる程砂の粒度や容積比の影響が実質は少ないことが分かる。このような結果から、低水セメント比の高強度コンクリートモルタルになる程、圧縮強度に対する砂の粒度や容積比の影響は小さくなると言える。

図-12 に粗粒率と圧縮強度の関係を示す。粗粒率と圧縮強度の関係は水セメント比によって異なり、水セメント比が 28% では粗粒率の増加とともに圧縮強度は減少するのに対し、水セメント比が 35 および 42% では逆に増加する傾向にある。従って、同図からも圧縮強度の点からすれば、水セメント比が 28% では細目の方が、水セメント比が 35 および 42% では粗目の方が優位であると言える。但し、上述したように低水セメント比になるに従い、その差は

非常に小さくなる。

図-13 に実積率と圧縮強度の関係を示す。水セメント比が 28% では、実積率が増加すると圧縮強度はほぼ同等か僅かに上昇するのに対し、水セメント比が 35 および 42% では、逆に幾分低下する傾向にある。

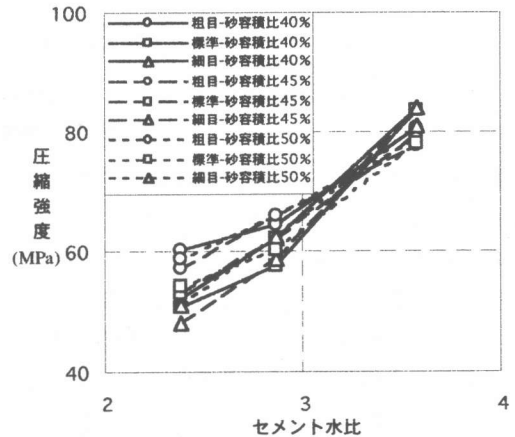


図-10 セメント水比と圧縮強度の関係

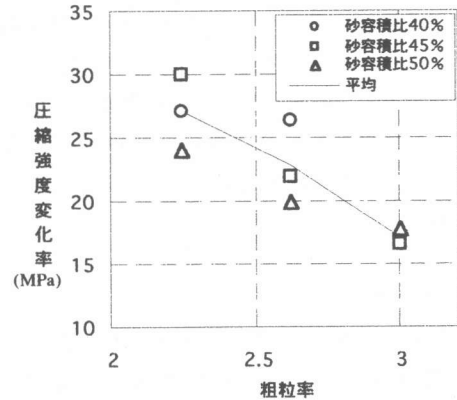


図-11 粗粒率と圧縮強度変化率の関係

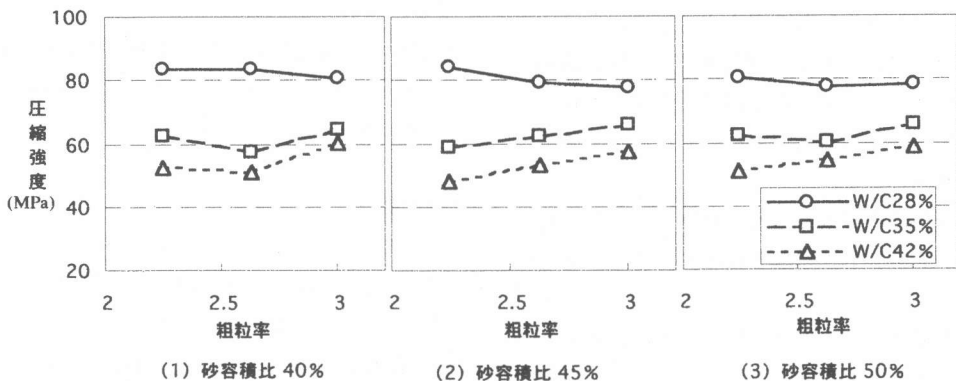


図-12 粗粒率と圧縮強度の関係

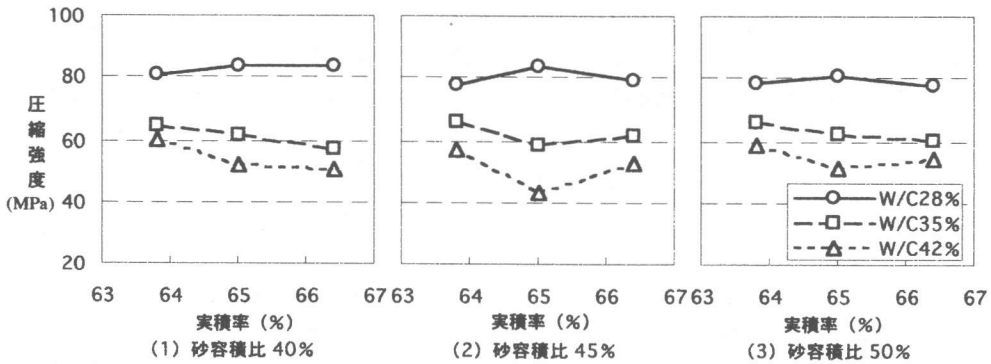


図-13 実積率と圧縮強度の関係

図-14 に空気量と圧縮強度の関係を示す。空気量は水セメント比が 28 および 35% では多くなる傾向にあるが、これは高性能 AE 減水剤を使用したためと考えられる。また、各水セメント比とも、砂の粒度が小さくなる程空気量が幾分多くなる傾向にある。各水セメント比における空気量の範囲と平均値は、水セメント比 28, 35, 42% に対して、それぞれ 2.8~5.9% と 4.5%, 3.0~6.9% と 4.7%, 1.0~3.6% と 2.5% であった。これらは、高強度コンクリートの想定空気量 $2 \pm 1\%$ 、即ち、モルタル換算値約 1.7~5.0% と比較すると、少し範囲を超えるものもあり、強度にも幾分影響が出ているものと考えられる。

4. まとめ

本研究から得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 粗粒率の増大とともに高性能 AE 減水剤の使用量はほぼ直線的に減少し、その変化率は低水セメント比になる程大きくなる。
- (2) フローは砂容積比の増大とともにほぼ直線的に減少し、その変化率は低水セメント比になるほど、かつ粗粒率が小さくなる程大きくなる傾向にある。
- (3) 砂容積比の増大とともに粘度は上昇し、特に低水セメント比になる程その影響が顕著となる。
- (4) 砂容積比の増大とともに空気量は増加する傾向にある。
- (5) 砂容積比が増加すると圧縮強度は主旨低下

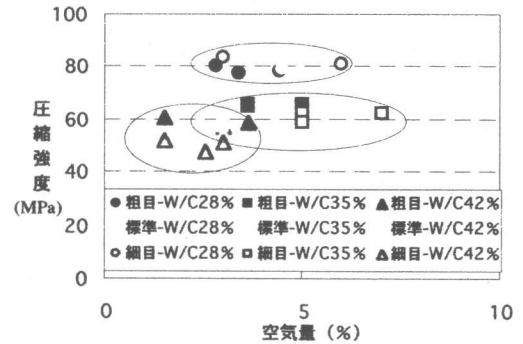


図-14 空気量と圧縮強度の関係

- する傾向にあるが、水セメント比および砂の粒度によって、この砂容積比の影響は異なる。
- (6) 同一水セメント比でも、圧縮強度は砂の粒度や容積比によって異なる。また、これらの変化に伴う圧縮強度の変動係数は、低水セメント比になる程小さくなる。
 - (7) セメント水比と圧縮強度の関係は砂の粒度と容積比によって異なり、両者の間の変化率は、粗粒率の増加とともにほぼ直線的に減少する。
 - (8) フロー、強度および経済性などの点から考えると、高強度コンクリートモルタルの細骨材としては粗目の方が良いと考えられる。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：特集*コンクリートの高性能・高機能化，コンクリート工学，Vol. 32，No.7，1994.7
- 2) 長瀧重義ほか：コンクリートの高性能化，技報堂出版，1997.11