

論文

[1026] 石灰石微粉末を用いた超流動コンクリートの配合に関する研究

綾野克紀*1・阪田憲次*2・小川鑑*3・金子泰治*4

1. はじめに

一般に、材料分離を生じることのない、流動性の高いコンクリート（以下、超流動コンクリートとよぶ）の配合は、粉体量が多く、細骨材率の高いものとされている。従って、超流動コンクリートの製造においては、粉体量を多くするために、混和材としてフライアッシュまたは高炉スラグ微粉末がよく用いられている。また、細骨材率が高いため、細骨材の表面水率などの品質管理を十分行う必要があるとされている。

超流動コンクリートによく用いられるフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末は、良質のものを使用すると、単位水量の低減、ワーカビリティの改善および水密性の改善などコンクリートの品質改善を期待することができる。しかし、フライアッシュの場合は、石炭火力発電所におけるNOx規制ならびに海外石炭の使用により、その物理的・化学的性質が変化することによって品質がばらつき、JIS規格に適合しないものも現れている。一方、高炉スラグ微粉末は、安定した供給を受けることが地域的に難しい場合がある。

本研究は、全国各地で産出され、比較的安定した供給が可能と思われる石灰石微粉末を混和材に用いたコンクリートの流動性を調べることを目的とするものである。まず、石灰石微粉末を用いた超流動コンクリートの最適な骨材量および細骨材率を調べ、細骨材率の低い場合においても材料分離を生じることなく、スランプフローが60cm～70cmの超流動コンクリートができることを示す。さらに、石灰石微粉末を用いた高、中、低の3種類の強度をもつ超流動コンクリートの配合を示し、任意の強度の超流動コンクリートをつくることが可能であることを示す。

2. 骨材量および細骨材率がコンクリートの流動性に及ぼす影響

60cm～70cmのスランプフローを生じさせるために必要な石灰石微粉末の量ならびに最適な細骨材率を調べるために、単位セメント量、単位水量、高性能減水剤および分離低減剤の添加量を一定とした条件で、表-1に示す配合のコンクリートを打設した。なお、高性能減水剤の量は、セメント量の2.35%である。本研究では、ナフタリンスルホン酸・ホルマリン高縮合物質を主成分とする高性能減水剤とポリアクリルアミド系化合物を主成分とする分離低減剤を用いた。

これらの配合の基本となるBase配合における粗骨材量は、ACI613-54による「コンクリート単位容積に対する乾燥突き固め粗骨材の容積」の表により決定されたもので、骨材の実積率が最大になる量となっている。G-10配合、G-20配合およびG-30配合は、それぞれ、Base配合の細骨材の10%、20%および30%の体積の粗骨材を石灰石微粉末で置き換えた配合（以降、これらの配合をmix-Gとよぶ）で、S-10配合、S-20配合およびS-30配合は、それぞれ、Base配合の細骨材の10%、20%

*1 岡山大学助手 工学部土木工学科、工博（正会員）

*2 岡山大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

*3 (株) 大本組建築本部技術部次長、工博（正会員）

*4 (株) 大本組土木本部

表-1 コンクリートの配合表

配合名	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						
				水 W	セメント C	石灰石微粉末 L F	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤	分離低減剤
Base	0.6	50	47.3	170	340	0	867	1,006	8.0	3.0
G-10	1.2	50	49.7	170	340	91	868	915	8.0	3.0
G-20	1.3	50	52.3	170	340	181	868	826	8.0	3.0
G-30	1.2	50	54.6	170	340	272	868	753	8.0	3.0
S-10	0.5	50	44.7	170	340	91	780	1,006	8.0	3.0
S-20	0.8	50	41.8	170	340	181	694	1,006	8.0	3.0
S-30	0.5	50	38.6	170	340	272	607	1,006	8.0	3.0
T-10	0.8	50	47.3	170	340	91	826	959	8.0	3.0
T-20	0.9	50	47.3	170	340	181	785	911	8.0	3.0
T-30	1.4	50	47.3	170	340	272	744	864	8.0	3.0
ST-20	0.5	50	44.6	170	340	181	740	958	8.0	3.0
GT-20	0.8	50	49.8	170	340	181	826	868	8.0	3.0

および30%の体積の細骨材を石灰石微粉末で置き換えた配合である（以降、これらの配合をmix-Sとよぶ）。また、T-10配合、T-20配合およびT-30配合は、それぞれ、Base配合の細骨材率を変えずに、Base配合の細骨材の10%、20%および30%の体積の骨材を石灰石微粉末で置き換えた配合である（以降、これらの配合をmix-Tとよぶ）。さらに、ST-20配合は、Base配合の細骨材の20%の体積の骨材を石灰石微粉末で置き換え、細骨材率がS-20とT-20の間になる配合としたもので、GT-20配合は、Base配合の細骨材の20%の体積の骨材を石灰石微粉末で置き換え、細骨材率がT-20とG-20の間になる配合としたものである。

これらの実験に用いた粗骨材は、最大寸法20mmの碎石（比重：2.72，吸水率：1.41，F.M.：6.77）で、細骨材は、川砂（比重：2.61，吸水率：1.91，F.M.：2.62，細骨材に占める0.15mmのふるいを通る微粒分の割合：9.9%（重量比））である。セメントは、普通ポルトランドセメント（比重：3.15）を用いた。石灰石微粉末は、比重が2.73で、粉末度がブレン値で3,600cm²/gのものを用いた。コンクリートの練り混ぜは、容量40リッターの強制練りミキサーを用い、1分間空練りをした後、高性能減水剤を溶かした水を徐々に加えながら、2分30秒間本練りを行った。なお、スランプ試験およびスランプフロー試験は、打節後10分以内に行った。

図-1は、石灰石微粉末の置換量とスランプの関係を示した図である。mix-S、mix-Gおよびmix-T配合のいずれの配合においても、Base配合の細骨材の10%の体積を石灰石微粉末で置き換えることにより、25±2cm程度のスランプが得られていることが分かる。また、図-2は、石灰石微粉末の置換量とスランプフローの関係を示した図である。この図より、石灰石微粉末を細骨材の一部と置き換える場合には、石灰石微粉末との置換割合が大きくなるにつれ、スランプフローも大きくなるのに対し、石灰石微粉末を粗骨材の一部と置き換える場合には、スランプフローが最大となる石灰石微粉末の置換割合が存在し、それ以上の置換を行えば、スランプフローが小さくなること分かる。また、Base配合と同じ細骨材率とした条件で、骨材の一部を石灰石微粉末

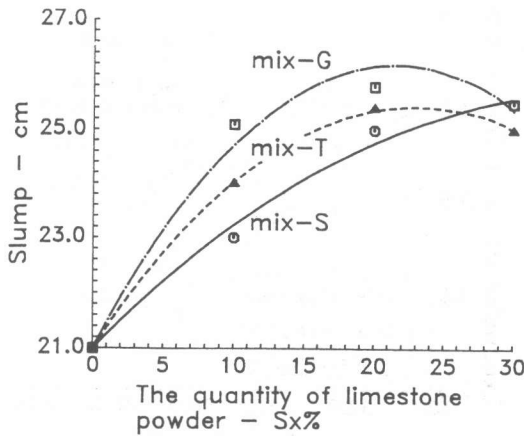


図-1 スランプと石灰石微粉末量の関係

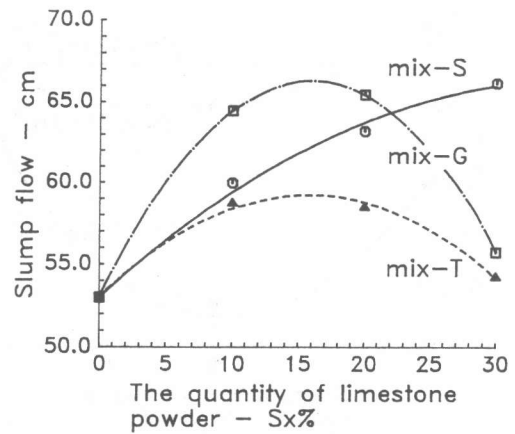


図-2 スランプフローと石灰石微粉末量の関係

で置換した場合には、60cm以上のスランプフローが得られないことが分かる。図-3は、細骨材率とスランプフローの関係を示した図である。ただし、いずれのコンクリートの配合においても、Base配合の細骨材の20%の体積が石灰石微粉末で置き換えられている。この図より、Base配合と同じ細骨材率のコンクリートのスランプフローを最小とし、細骨材率が大きくなるかあるいは小さくなるにつれ、スランプフローも大きくなること分かる。すなわち、石灰石微粉末量と細骨材率の双方が、コンクリートの流動性に影響を及ぼすことが分かる。なお、表-1に示した配合のコンクリートのうち、スランプ試験時において

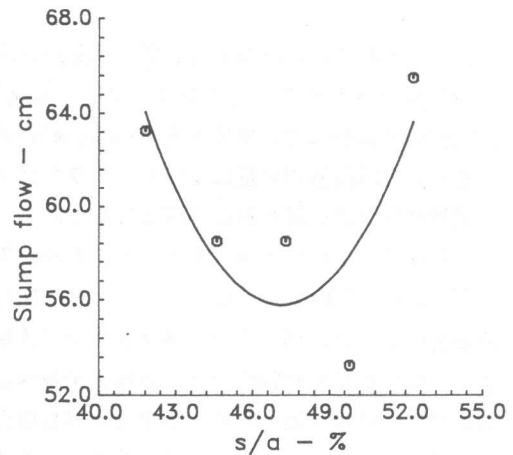


図-3 細骨材率とスランプフローの関係

中央に粗骨材が残ることなく、また、コンクリートの広がった先端において水の分離がみられなかったのは、G-20配合およびS-20配合のみである。G-10配合およびS-10配合においては、スランプ試験時において中央に粗骨材が残り、S-30配合では、コンクリートの広がった先端において水の分離がみられた。

3. 超流動コンクリートの流動性に及ぼすペーストの影響

本節では、水セメント比、単位水量および分離低減剤の量が、石灰石微粉末を用いたコンクリートの流動性に及ぼす影響を調べる。ただし、高性能減水剤の量は、セメント量の2.35%とし、細骨材量および粗骨材量は、表-1のS-20配合またはG-20配合のいずれかと同じとした。なお、表-1のS-20配合とG-20配合とでは、骨材の占める体積が同じで細骨材率が異なる。

図-4は、水セメント比60%で、単位水量の異なるコンクリートのスランプフローを示したものである。ただし、図-4に示したいずれのコンクリートも、細骨材および粗骨材の量はS-20配

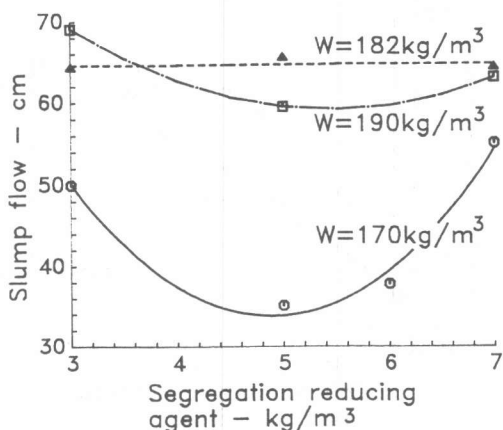


図-4 スランプフローと単位水量および分離低減剤量の関係

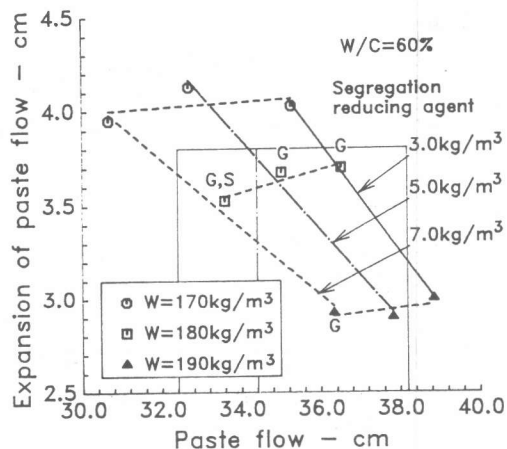


図-5 ペーストに振動を与える前のフローと与えた後のフローの増大(W/C=60%)

合と同じである。この図より、単位水量が 182kg/m^3 の場合および 190kg/m^3 の場合には、分離低減剤の量を増減させてもスランプフローは変化しないことが分かる。これに対して、単位水量が 170kg/m^3 の場合には、単位水量が 182kg/m^3 の場合および 190kg/m^3 の場合よりもスランプフローが小さく、分離低減剤の量によって、スランプフローの大きさが変化することが分かる。

細骨材量および粗骨材量が同じであるにも係わらずスランプフローの大きさが異なる理由を検討するために、ペースト（セメント+石灰石微粉末+水+混和剤）のフローおよびフローテーブル[1]によって振動を与えた後のフローの増大を調べ、これらの値とコンクリートの流動性との関連を検討した。図-5は、水セメント比が60%の場合のペーストのフローとフローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大を調べた結果を示したものである。図中のGは、細骨材量および粗骨材量が表-1のG-20配合と同じ場合に、スランプ試験時において中央に粗骨材が残ることなく、また、コンクリートの広がった先端において水が分離することなく、 $25 \pm 1\text{cm}$ のスランプと $65 \pm 5\text{cm}$ のスランプフローを得られた配合を示している。また、図中のSは、細骨材量および粗骨材量が表-1のS-20配合と同じ場合に、Gと同様な流動性が得られた配合であることを示している。この図より、水セメント比が60%の場合には、分離低減剤の量を増やすとペーストのフローを小さくする効果があり、単位水量を増やすと、ペーストのフローが大きくなると同時にフローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大を小さくする効果があることが分かる。さらに、フローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大が大きい場合、すなわち、単位水量が 170kg/m^3 の場合には、分離低減剤の量を変え、ペーストのフローの大きさを変化させても、高い流動性を持ったコンクリートにはならないことが分かる。また、細骨材量および粗骨材量を表-1のS-20配合と同じとした場合には、細骨材量および粗骨材量をG-20配合と同じとした場合よりもペーストのフローを小さくする単位水量および分離低減剤の量を選択する必要があることが分かる。

図-6および図-7は、それぞれ、水セメント比が50%および40%の場合のペーストのフローとフローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大を調べた結果を示したものである。図中のGおよびSは、図-5の場合と同じである。これらの図より水セメント比が小さい場合には、

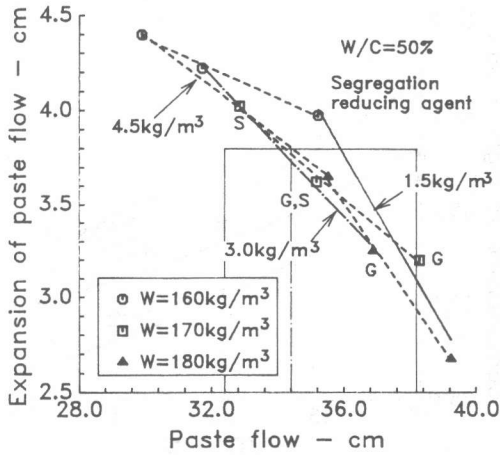


図-6 ペーストに振動を与える前のフローと与えた後のフローの増大(W/C=50%)

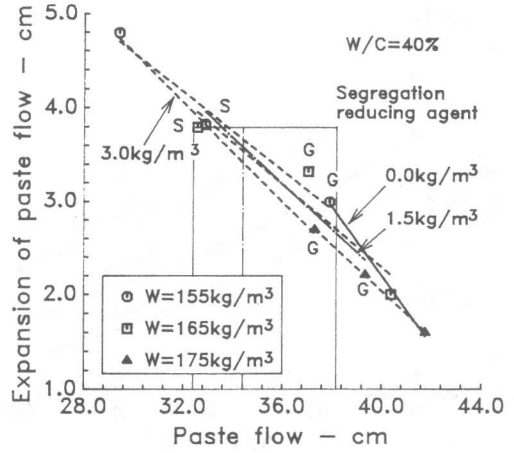


図-7 ペーストに振動を与える前のフローと与えた後のフローの増大(W/C=40%)

分離低減剤の量を増やすことと単位水量を下げることで、ペーストのフローおよびフローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大へ与える効果が同じであることが分かる。

図-8は、図-5, 図-6および図-7の結果を一つにまとめ、細骨材量および粗骨材量を表-1のS-20配合と同じとした場合に超流動コンクリートができる範囲と細骨材量および粗骨材量を表-1のG-20配合と同じとした場合に超流動コンクリートができる範囲を示した図である。また、図中の△は、超流動コンクリートとしての条件を満たしていないと判断されたコンクリートを示している。なお、この図では、スランブ試験時において中央に粗骨材が残ることなく、また、コンクリ

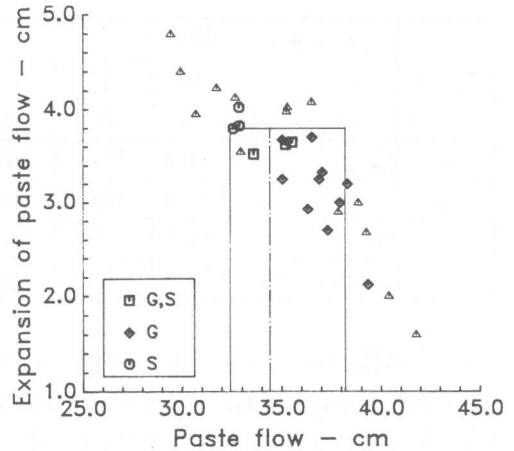


図-8 ペーストに振動を与える前のフローと与えた後のフローの増大

ートの広がった先端において水が分離することなく、 25 ± 1 cmのスランブと 65 ± 5 cmのスランブフローを得られたコンクリートを超流動コンクリートとしている。明確な境界線を引くことはできないが、フローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大が大きい場合には、超流動コンクリートはできないこと、細骨材率の小さい配合の超流動コンクリートのペーストのフローは、細骨材率の大きい配合の超流動コンクリートのペーストのフローよりも小さいことが分かる。これらのことより、超流動コンクリートの流動性には、ペーストのフローとフローテーブルによって振動を与えた後のフローの増大が強く影響を及ぼすことが分かる。

図-9は、表-1のS-20配合の圧縮強度とS-20配合と同じ骨材量で水セメント比が40%および60%の配合の圧縮強度を示したものである。また、図-10は、表-1のG-20配合の圧縮強度とG-20配合と同じ骨材量で水セメント比が40%および60%の配合の圧縮強度を示したものである。図-

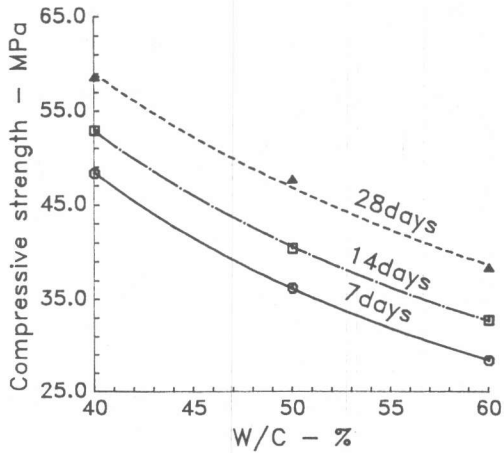


図-9 細骨材率41.8%の超流動コンクリートの水セメント比と強度の関係

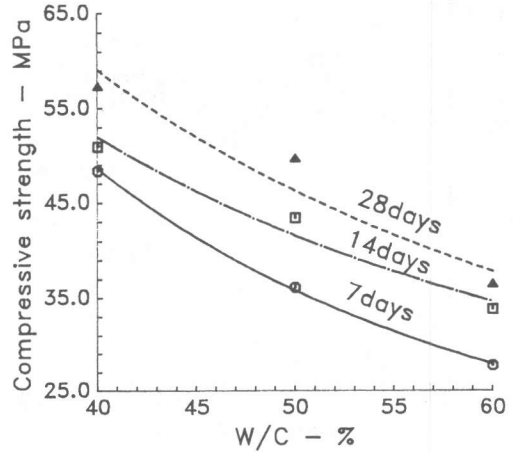


図-10 細骨材率52.3%の超流動コンクリートの水セメント比と強度の関係

表-2 コンクリートの配合表

配合名	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						
				水 W	セメント C	石灰石微粉末 L F	細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤	分離低減剤
①	0.9	40	41.8	155	387	181	694	1,006	9.10	1.5
②	0.6	60	41.8	182	303	181	694	1,006	7.12	7.0
③	2.2	40	52.3	155	387	181	868	826	9.10	0.0
④	0.9	60	52.3	182	303	181	868	826	7.12	3.0

9に示した供試体の配合は、表-2の配合①および配合②で、図-10に示した供試体の配合は、表-2の配合③および配合④である。これらの配合のコンクリートは、スランプ試験時において中央に粗骨材が残ることなく、また、コンクリートの広がった先端において水が分離することなく、25±1cmのスランプと65±5cmのスランプフローを得られた配合である。求める強度により水セメント比は変化し、単位水量および単位セメント量が増減する。しかし、その体積の増減を石灰石微粉末で補い、分離低減剤の量を変化させることで、G-20配合またはS-20配合と同じ細骨材量および粗骨材量の超流動コンクリートをつくるのが可能であることが分かる。

4. まとめ

石灰石微粉末を用いたコンクリートにおいて、細骨材率の高い場合と低い場合それぞれにおいて、スランプフローの最大となる石灰石微粉末の量および細骨材率の存在することが分かった。また、骨材の量を変えずに、水セメント比、石灰石微粉末の量および分離低減剤の量を変えて、異なる強度の超流動コンクリートができることを示した。

参考文献

- 1) (社)日本材料学会編：建設材料実験、進行印刷出版(株)、1990