

論文

[1050] 高流動化コンクリートのワーカビリティと材料不分離性に関する研究

正会員○牧野 英久 (前田建設工業技術研究所)
 正会員 渡部 正 (前田建設工業技術研究所)
 中島 良光 (前田建設工業技術研究所)

1. はじめに

コンクリートの施工性を向上させて、かつ所要の品質を確保するためには、材料分離を生じさせることなくできるだけ流動性を高めることが要求される。しかし、コンクリートを構成する材料の比重、粒径、粒子形状等が大きく異なるため、このような相反する性質を共存させるためには、配合上解決しなければならない技術的課題が多い。

しかし、近年、水中での分離抵抗性が高く、かつ、流動性、充填性に優れた水中不分離性コンクリートが実用化されるとともに、気中施工を対象とした締固め不要コンクリートに関する研究が実施されるようになってきた[1][2]。

本研究は、高流動化コンクリート、すなわち、スランプフローが55~60cmのコンクリートを対象として、その基本的な配合要因である粘稠剤の添加量、粗骨材の種類、細骨材率および水セメント比等が流動性、セルフレベリング性、材料分離抵抗性に対してどのような影響を及ぼすかについて実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、表-2.1に示すとおりとし、下記の3シリーズに分けた。

シリーズ1：高性能AE減水剤のみで高流動化した配合

シリーズ2：粘稠剤を水中不分離性コンクリート相当に添加した配合

シリーズ3：粘稠剤を少量添加した配合

表2.1 コンクリートの配合

| シリーズN° | 粗骨材の種類 | 配合条件 | | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|-----------|----------|--------------------------|------|------|-------|---------|-----|--------------|------------|------|----------|----------|------|
| | | 水結合材比 (%) | 細骨材率 (%) | 水 | セメント | 粗骨材 | | | 混和剤 | | | 消泡剤 | | | |
| | | | | | | 粗骨材 | 高炉スラグ | フライアッシュ | 膨張材 | 高性能AE減水剤 (%) | 高性能減水剤 (%) | | 粘稠剤A (%) | 粘稠剤B (g) | |
| 1 | 砕石 | 50 | 50 | 170 | 340 | 919 | 947 | — | — | — | 1.60 | — | — | — | — |
| | | 50 | 50 | 170 | 340 | 919 | 947 | — | — | — | 1.50 | — | — | — | — |
| | | 50 | 50 | 170 | 340 | 919 | 947 | — | — | — | 1.20 | — | — | — | — |
| | | 30 | 48 | 150 | 500 | 839 | 947 | — | — | — | 1.30 | — | — | — | — |
| | | 30 | 48 | 150 | 500 | 839 | 947 | — | — | — | 1.20 | — | — | — | — |
| | | 30 | 48 | 150 | 500 | 839 | 947 | — | — | — | 1.00 | — | — | — | — |
| 2 | 砕石 | 50 | 49 | 235 | 470 | 740 | 790 | — | — | — | — | 2.50 | 1.15 | — | — |
| | | 50 | 44 | 235 | 470 | 666 | 867 | — | — | — | — | 2.50 | 1.15 | — | — |
| | | 50 | 39 | 235 | 470 | 591 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 1.15 | — | — |
| | | 50 | 39 | 235 | 470 | 591 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 1.15 | — | — |
| | | 50 | 41 | 220 | 440 | 638 | 963 | — | — | — | — | 2.50 | 1.15 | — | — |
| | | 50 | 39 | 235 | 470 | 591 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 1.15 | — | — |
| 3 | 砕石 | 50 | 44 | 205 | 410 | 718 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 0.85 | — | — |
| | | 50 | 48 | 180 | 360 | 824 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 0.60 | — | — |
| | | 50 | 51 | 150 | 300 | 952 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 0.30 | — | — |
| | | 50 | 60 | 180 | 360 | 1039 | 722 | — | — | — | — | 2.50 | 0.30 | — | 0.10 |
| | | 50 | 57 | 175 | 350 | 995 | 790 | — | — | — | — | 2.50 | 0.30 | — | 0.08 |
| | | 50 | 53 | 175 | 350 | 920 | 868 | — | — | — | — | 2.50 | 0.30 | — | 0.07 |
| | 川砂利 | 50 | 53 | 175 | 350 | 920 | 868 | — | — | — | — | 2.00 | 0.30 | — | 0.06 |
| | | 30 | 45 | 160 | 533 | 734 | 947 | — | — | — | — | 2.50 | 0.30 | — | — |
| | | 30 | 44 | 150 | 500 | 733 | 963 | — | — | — | — | 2.50 | 0.30 | — | — |
| | | 30 | 45 | 154 | 144 | 745 | 947 | 154 | 183 | 10 | 1.45 | — | — | 6 | — |
| | | 30 | 44 | 154 | 144 | 733 | 963 | 154 | 183 | 10 | 1.25 | — | — | 6 | — |
| | | 30 | 44 | 154 | 144 | 733 | 963 | 154 | 183 | 10 | 1.25 | — | — | 6 | — |

◆ 高性能AE減水剤、高性能減水剤はセメントに対する添加率を示してあり
 粘稠剤Aは水に対する添加率で示してある
 ◆ 粘稠剤A：特殊水中コンクリート用セルローズ系粘稠剤
 粘稠剤B：少量添加型セルローズ系粘稠剤

そして、各シリーズにおいて適宜、粗骨材の種類（碎石と川砂利）、細骨材率、水セメント比を変化させた。細骨材率を変化させる以外の配合については、単位粗骨材かさ容積を $0.58 \text{ m}^3/\text{m}^3$ と一定にした。

使用した材料の一覧を表-2.2に示した。

2.2 流動性および材料分離抵抗性の評価方法

現在のところ、コンクリートの流動性、セルフレベリング性および材料分離抵抗性を同時に測定する方法は確立されておらず、その評価方法が難しい。水中不分離性コンクリートの流動性およびセルフレベリング性を評価する方法としては、スランプフロー試験、ボックス試験などが、高強度コンクリートの振動締固め時の流動性を評価する方法としては、動的ボックス試験、VF試験などが提案されている。

本研究では、無振動状態下でのコンクリートが鉄筋などの間を通過してゆく場合の流動性および材料分離の傾向を見いだす目的で図-2.1に示したVF試験装置を使用した。この装置は、昭和41年土木学会規準として規格化されていたものである。

本来の試験方法では、硬練りコンクリートを対象

として、底板に振動を加えてその時の流動状況を観察するものであるが、今回の試験では、無振動状態で試験を行った。試験手順は、① $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ のA室にコンクリートを詰める、②A室を回転させ3つの流出孔（幅 $75 \times$ 高さ 60 mm ）を一致させる、③コンクリートの流動が停止したらA室内のコンクリートの下がり（VF値下がり）を測定する、とした。

この試験を高流動化コンクリートに適用した場合の特徴は、無振動状態でA室の流出孔からB壁、C壁を通過する状況によって流動性、セルフレベリング性および材料分離性を観察することができることである。すなわち、それらの性質が優れている場合には、流出孔からコンクリートが多く流出してA室内の下がりが大きくなる。一方、それらの性質が劣っている場合には、流出孔付近に粗骨材がアーチアクションにより詰まって流出せず、その結果としてA室内のコンクリートの下がりが小さくなる。

3. 実験結果

3.1 高性能AE減水剤のみで高流動化した配合

単位粗骨材量を同一として、水セメント比を50%と30%にした配合に対して、材料分離が生じない程度まで、高性能AE減水剤の添加量を増加させた。その結果、スランプフローは、水セメント比50%の配合では55cmまで、水セメント比30%の配合では60cmまで大きくすることができた。

図-3.1は、スランプフローとVF値下がりの関係を示したものである。図から明らかなように、スランプフローを大きくしてもVF値下がりは大きくならなかった。これは、コンクリート流出孔内で材料分離が生じ、粗骨材がアーチアクションにより詰まったためである。また、

表-2.2 使用材料一覧

| | |
|------|---|
| セメント | 普通ポルトランドセメント |
| 細骨材 | 大井川産川砂(比重2.60,粗粒率2.70) |
| 粗骨材 | 秩父産硬質砂岩系碎石($G_{\text{max}}=20 \text{ mm}$,比重2.71) 信濃川産川砂利($G_{\text{max}}=25 \text{ mm}$,比重2.72) |
| 混和材 | 高炉スラグ微粉末 |
| | フライアッシュ |
| | 膨張材 |
| 混和剤 | 高性能AE減水剤 |
| | コンクリート用水中不分離性混和剤 η - μ -s系粘糊剤(A) |
| | 少量添加型 η - μ -s系粘糊剤(B) |
| | 消泡剤 高性能減水剤 |

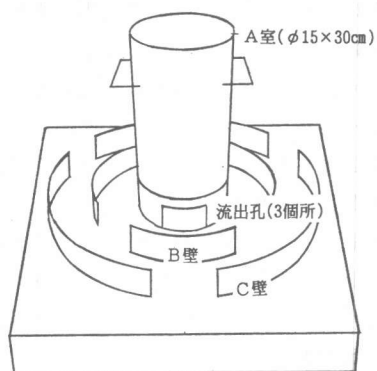


図-2.1 VF試験装置

粉体の量を多くして材料分離に対する抵抗性を増す目的で、水セメント比を50%から30%に小さくしてもその傾向は変わらなかった。

以上のように、セメント量を増大させて高性能減水剤の添加のみによって高流動化させても、VF試験で判断するかぎり、セルフレベリング性や材料分離抵抗性等は向上しないことが明らかになった。

3.2 水中不分離性コンクリート用の配合

図-3.2は、粘稠剤Aを単位水量に対して1.15%添加してスランプフローを55~60cmとした水中不分離性コンクリートで、細骨材率のみを変化させた場合のVF値下がりを示したものである。

このように、VF値下がりとは、水中不分離性コンクリートの一般的な細骨材率40%の場合に11.5cmであった。しかし、細骨材率を増大させると、スランプフローは変化しないにもかかわらず、VF値下ごりは大きくなる傾向を示した。すなわち、細骨材率を10%増加させるとVF値は24.0cmとなり、コンクリートのほとんどは流出した。また、図中には、粗骨材として川砂利を使用した配合についても示した。このように、粗骨材を碎石から川砂利に代えると細骨材率が40%程度でもVF値は25.0cmと大きな値を示した。

以上のように、水中不分離性コンクリートは、従来から言われているように、スランプフローに対しては実用的な範囲内では細骨材率の大きさの影響を受けないが、VF試験を行うとその影響が顕著に表われ、細骨材率を大きくするとVF値下ごりが大きくなり、流動性やセルフレベリング性が向上することが明らかになった。このことは、スランプフロー試験のみでは水中不分離性コンクリートの性状を的確に評価できないことを意味している。

3.3 粘稠剤を少量添加した配合

図-3.3は、粘稠剤Aの添加率(単位水量に対して0.3~1.15%)とVF値下ごりの関係を示したものであり、水セメント比を50%としてスランプフローが55~60cmの範囲になるよう単位水量を調整してある。このように、粘稠剤の添加量を減少すると、VF値下がりも小さくなり、流動性、材料分離抵抗性とも低下する傾向が認められた。

図-3.4は、粘稠剤Aの添加率を0.3%として、細骨材率を変化させた場合のVF値下ごりを示したものである。このように、細骨材率を53%から60%まで増大すると、VF値下ごりは約10cm大きくなり、粘稠剤の添加率が1.15%の場合とほぼ同一の値を示した。

一方、図-3.5は、粉体の量を多くし、かつ、粗

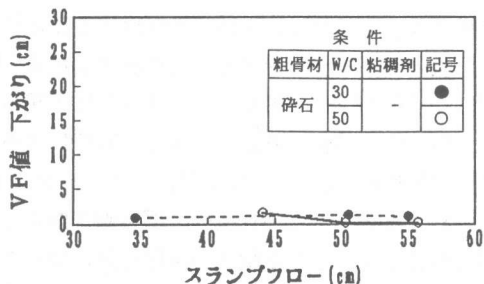


図-3.1 高性能減水剤で高流動化したコンクリートのスランプフローとVF値下ごりの関係

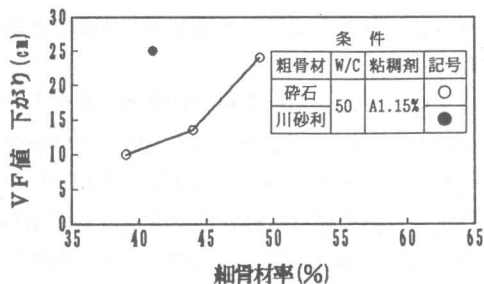


図-3.2 水中不分離性コンクリートの細骨材率とVF値下ごりの関係

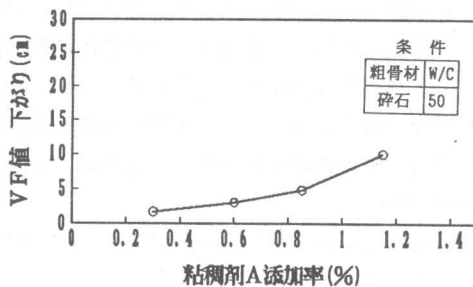


図-3.3 粘稠剤添加率とVF値下ごりの関係

骨材を碎石の代わりに川砂利を使用することによって流動性がどう改善するかを検討するため、粘稠剤Aの添加率を0.3%で、水セメント比を30%とした場合の試験結果である。また、同時に図中には、粘稠剤Bを使用し、スラグ、フライアッシュ、膨張材でセメントと細骨材の一部を置き換えて水結合材比を30%とした配合の試験結果についても示した。このように、粘稠剤の違いによる影響は認められないものの、いずれの場合も粗骨材として川砂利を用いれば、VF値下がりとは著しく大きくなり、流動性、材料分離性が向上することが明らかになった。

以上のように、粘稠剤を少量添加した配合でも細骨材率を増加させるか、あるいは、粉体量を多くして川砂利を用いることにより、セルフベリング性や材料分離抵抗性が向上することが明らかとなった。このことは、コンクリートの粘性をある程度抑制させた状態でそれら性質を向上させるためには、配合上の基本的な性質である、細骨材率の大きさ、骨材の種類あるいは粉体量を適切に選定、組み合わせることにより達成できることを意味している。

4. まとめ

高流動化したコンクリートの流動性、セルフベリング性および材料分離抵抗性に及ぼす配合要因の影響についてVF試験により検討した。その結果、これら三つの性質に対して下記のようなことが明らかになった。

- (1)スランプフロー試験のみでは上記した性質を的確に評価することはできない。しかし、VF試験では、同一スランプフローであっても、細骨材率、粗骨材の種類あるいは水セメント比の影響が顕著に表われるため、それらの評価方法に適している。
- (2)高性能AE減水剤のみよって高流動化したコンクリートは、材料分離に対する抵抗性が劣る。
- (3)水中不分離性コンクリートの場合には、通常の配合でも上記した性質は優れている。そして、細骨材率の増大、あるいは、川砂利の使用によりさらにその性質が改善される。
- (4)粘稠剤の添加率を水中不分離性コンクリートの1/4に減少すると、上記した性質は低下する。しかし、細骨材率、粗骨材の種類あるいは粉体量を適切に選定、組み合わせることにより、それら性質は向上する。

今後、硬化コンクリートの物性や耐久性について検討を行うとともに、実施工に適用できる合理的な配合技術を確認する予定である。

【参考文献】

- [1]小沢，前川，岡村：ハイパフォーマンスコンクリートの開発，コンクリート工学年次論文報告集，11-1，1989
- [2]竹下，佐原，横田：スーパーフローコンクリートに関する研究，日本国土開発技術研究報告，No.9，1989

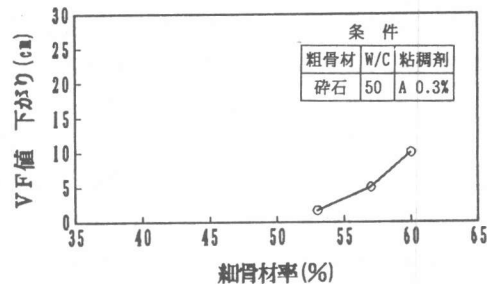


図-3.4 細骨材率とVF値下がりとの関係

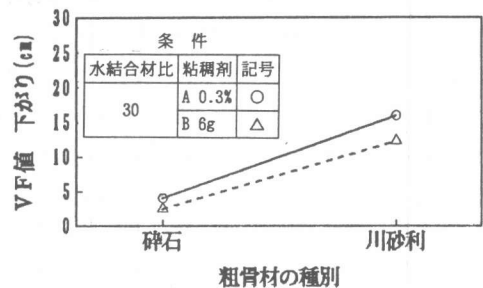


図-3.5 VF値下がり及び粗骨材種類の影響（水結合材比30%）