

論文

[1052] 高流動・不分離コンクリート成形体の表面気泡低減に関する研究

正会員 ○倭 富士桜 (花王株式会社化学品研究所)
 福田 昌弘 (花王株式会社化学品研究所)
 玉置 良市 (花王株式会社化学品研究所)
 飯塚 正則 (花王株式会社化学品研究所)

1. はじめに

高流動・不分離コンクリートとして、ハイパフォーマンスコンクリート(以下、HPCと略す)は、コンクリートの耐久性向上、施工の合理化を目的として、東京大学の岡村研究室で開発されたコンクリートである[1]。HPCのフレッシュな状態における最大の特徴は、流動性、材料分離抵抗性、充填性に優れ、振動締め固めをせずに型枠の隅々に行き渡ることである。

HPCは、水溶性高分子と混和材料として高炉スラグ粉末及びフライアッシュを用いる場合(セメントを含めた微粉末の三成分系HPC)と、高炉スラグ粉末もしくはフライアッシュを用いる場合(二成分系HPC)が報告されている。筆者らは、二次製品にHPCを適用すべく、材料配合の単純な二成分系を採用して、二次製品に必要な初期強度を確保し、さらに、表面気泡低減の為、微振動に加え界面張力低下型剝離剤の技術を用い、高流動・不分離コンクリートの開発に至り、これを「自己充填性コンクリート」と称した。本研究では、フレッシュコンクリートの流動性及び分離抵抗性、さらに、硬化コンクリートの表面気泡の低減効果について報告する。

2. 実験方法

本研究では、フレッシュコンクリートの流動性及び分離抵抗性に関して、①セメント(C)と高炉スラグ(SL)及びフライアッシュ(FA)の体積率(C+SL/m³, C+FA/m³)、②高性能減水剤(SP)の添加量による影響、③バイブレーターの振動条件、硬化したコンクリートの気泡低減に関しては③と④界面張力低下型剝離剤の塗布、について検討を行った。

使用した各材料の物性を表-1に示す。尚、高性能減水剤(SP)は、ナフタレンスルホン酸ホルマリン高縮合物を用いた。コンクリートの練り混ぜは100L強制練り2軸ミキサーを用い、次に示す手順で練り混ぜた。

粗骨材(G)+細骨材(S)+(C)+(SL/FA)→空練り10秒→SP混入水(W)投入→練り混ぜ2分→排出。

試験項目として、フレッシュコンクリートについては、スランプフロー試験及び分離抵抗性試験、硬化コンクリートについては、初期強度(σ_{8Hr})及び表面気泡測定試験を行った。材料分離性試験は、図-1に示す円筒状の分離抵抗試験容器を用い次の手順で行った。①コンクリートを投入後振動をかける、②1時間静置、③上部10cmと下部10cmのコンクリート中の粗骨材料(5mm以上)をふるい洗い乾燥定量、④下部:Bと上部:Aの重量から分離抵抗性を次の式で評価した。

$$\text{分離抵抗性(\%)} = \{A / (A + B)\} \times 2 \times 100$$

振動条件は、テーブルバイブレーター(3000rpm)に周波数変換用インバーターを接続し、10Hz、20Hzの微振動を30秒間かけた。表面気泡測定試験の試験体は、 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ を用い、側面を黒色で着色し、気泡及び空隙部分は澱粉を充填した(図-2参照)。写真撮影の後、画像解析装置(LUZEX III, NIRECO社製)により解析を行い、次式で算出した。

$$\text{表面気泡面積(\%)} = (\text{気泡面積} + \text{空隙面積}) / \text{全面積} \times 100$$

表-1 使用材料の物性

| 材料種別 | 比重 | 比表面積 (cm ² /g) | 粗粒率 |
|-----------------------|------|------------------------------|------|
| 普通ポルトランドセメント:C | 3.16 | 3300 | — |
| 高炉スラグ:SL | 2.89 | 6000 | — |
| フライアッシュ:FA | 2.23 | 3300 | — |
| 細骨材(紀ノ川産):S | 2.57 | — | 2.89 |
| 粗骨材(宝塚産碎石):G;最大寸法20mm | 2.61 | — | 6.57 |

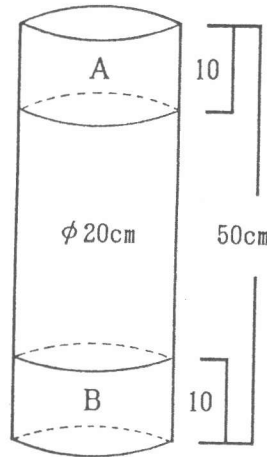


図-1 分離抵抗試験容器

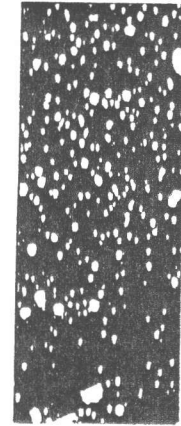


図-2 着色した試験体の外観

3. 実験結果

3.1 コンクリート配合とスランプフロー及び初期強度

本研究における、コンクリート配合を表-2に示す。材料分離を起こさない高性能減水剤(SP)添加量における初期強度(蒸気養生 σ_{8Hr})の試験結果から、この配合は、コンクリート二次製品分野に要求される脱型強度(150kgf/cm²)を上回っている。

表-2 自己充填性コンクリートの配合

| 配合番号 | 体積率 C+SL, or FA (vol%) | 水結合 材比 W/C+FA ,SL(%) | 細骨材 率 s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | SP 添加 量 1) | スラン プフ ロー (cm) | 圧縮強 度 2) σ_{8Hr} (kgf /cm ²) |
|------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|------|-----|-----|-----|---------------------|-------------------------|---|
| | | | | 水 W | セメント C | 混和材料 | | 骨材 | | | | |
| | | | | | | FA | SL | S | G | | | |
| 1 | 16.0 | 31.0 | 46.6 | 178 | 370 | — | 124 | 745 | 867 | 1.5 | 56 | 225 |
| 2 | 18.0 | 32.5 | 45.4 | 178 | 370 | — | 177 | 710 | 867 | 2.0 | 55 | 245 |
| 3 | 20.0 | 29.2 | 41.6 | 178 | 370 | — | 240 | 607 | 867 | 2.7 | 57 | 262 |
| 4 | 18.0 | 34.9 | 45.4 | 178 | 370 | 140 | — | 710 | 867 | 1.5 | 55 | 210 |
| 5 | 20.0 | 32.1 | 42.8 | 178 | 370 | 185 | — | 640 | 867 | 2.0 | 56 | 215 |
| 6 | 22.0 | 29.7 | 41.5 | 178 | 370 | 230 | — | 607 | 867 | 2.7 | 56 | 202 |

1): 高性能減水剤添加量=セメント×重量%

2): 蒸気養生条件(前置き25°C×1Hr、昇温20°C/Hr、保持65°C×4Hr、放冷2Hr)

3.2 混和材料の体積率がスランプフローと分離抵抗性に及ぼす影響

自己充填コンクリートが、スランプフロー55cm以上、分離抵抗性95%以上（肉眼で粗骨材の沈下が認められない領域）を満たすための高炉スラグ及びフライアッシュの最小体積率を把握する為に、表-2に示すコンクリート配合に高性能減水剤の添加量を1.5~4.0対C%の範囲で変化させた場合の結果を図-3、4に示す。

(セメント+高炉スラグ)体積率、(セメント+フライアッシュ)体積率が、それぞれ17.0体積%、19.0体積%以下ではスランプフロー、材料分離性共に満足しないことが判る。又、体積率の増加に伴いSP添加量を多く必要とする。

3.3 微振動下におけるコンクリートの流動性と分離抵抗性、表面気泡の関係

高流動コンクリートでは、振動締め固めが不要となることが望ましいが、実際に二次製品工場採用の際、表面気泡が残存する。そこで筆者らは、騒音等の環境に影響を及ぼさない微振動条件下において、コンクリート表面の気泡低減を目的とした。

まず初めに、この微振動がコンクリートの材料分離性にいかに影響を与えるかを検討した。図-5に、各振動条件下でのスランプフロー値と分離抵抗性との関係を示す。95%以上の分離抵抗性を得るには、スランプフロー値を60cm程度に抑える必要がある。又、この範囲に於て振動条件0~20Hzの分離抵抗性はほぼ同等である。

次に、振動条件と硬化後のコンクリート表面の気泡に与える影響を検討した。コンクリート配合は、表-2の配合番号3に準じ、型枠剝離剤としてスピンドル油を使用した。

図-6に、各振動条件下でのスランプフロー値と表面気泡の関係を示す。スランプフロー値40~65cmに於て、無振動の場合、表面気泡面積は4~11%の範囲で変動する。しかし、10もしくは20Hzの振動をかけることで、約4%以下の表面気泡面積に低減される。

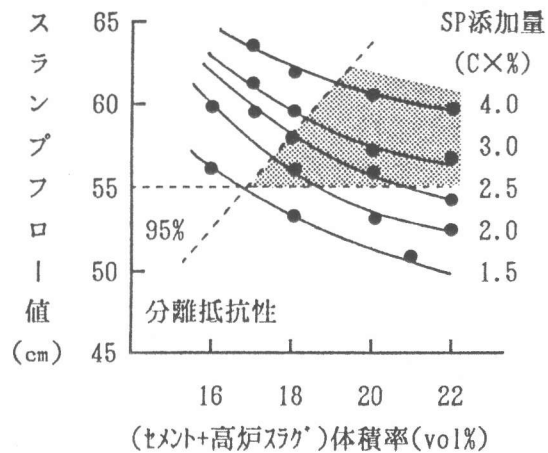


図-3 各配合におけるSP添加量とスランプフロー、分離抵抗性の関係(高炉スラグ)

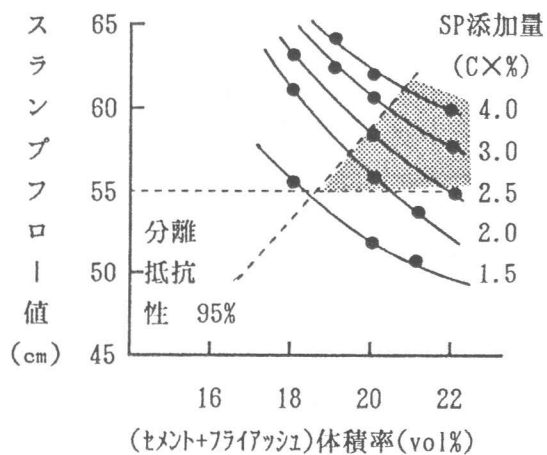


図-4 各配合におけるSP添加量とスランプフロー、分離抵抗性の関係(フライアッシュ)

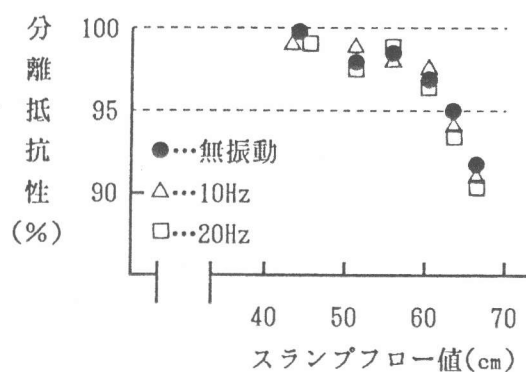


図-5 微振動によるスランプフローと材料材料分離性との関係

3. 4 剝離剤からの表面気泡低減の検討

界面化学的な見地から界面活性剤の作用を応用した剝離剤による表面気泡低減効果について検討した[2],[3]。

図-7に剝離剤とコンクリート（セメント飽和水溶液）の界面張力と表面気泡面積の関係を示す。剝離剤としてスピンドル油を使用し、界面張力を低下させる界面活性剤に特殊非イオン系活性剤を使用した。

剝離剤は、スピンドル油に界面活性剤を0.5～2.5%配合しセメント飽和水溶液の界面張力を20, 17, 10, 7, 0 dyne/cm²になるように調製した。

界面張力の測定は、ウイルヘルミー式（CBVP式）表面張力計を用い、セメント飽和水（セメント1000g/水10ℓを攪拌24時間後濾過した液をコンクリートの代替とした。）と剝離剤の界面張力を測定した。

コンクリートの配合は、表-2配合番号3に準じスランブフローを55cmに調製した。

振動条件は20Hz、30秒とした。

図-7の結果から明かなように剝離剤とコンクリート（セメント水）の界面張力を低下させることで、コンクリート表面気泡が低減される。その効果は界面張力として、10dyne/cm²以下が顕著である。

4. まとめ

高流動・不分離コンクリートを二次製品に適用すべく、初期の強度確保と表面気泡の低減を目的とした本研究は、高炉スラグ及びフライアッシュ等の微粉末の配合、高性能減水剤の添加及び微振動と界面張力低下型剝離剤使用により、満足すべき結果が得られた。今後さらに実験、研究を重ね、コンクリート製品に適用していく予定である。

参考文献

- [1] 小沢一雅・前川宏一・岡村 甫：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、vol.11, No.1, PP.699-704, 1989.6
- [2] 倭富士桜・辻 彰敏・国川憲三・服部健一：コンクリートの表面気泡の低減について；コンクリート工学年次論文報告集、vol.8, PP.253-256, 1986.6
- [3] 倭富士桜：セメント製品の表面美観；日本GRC協会講演要旨集, 1991.2.

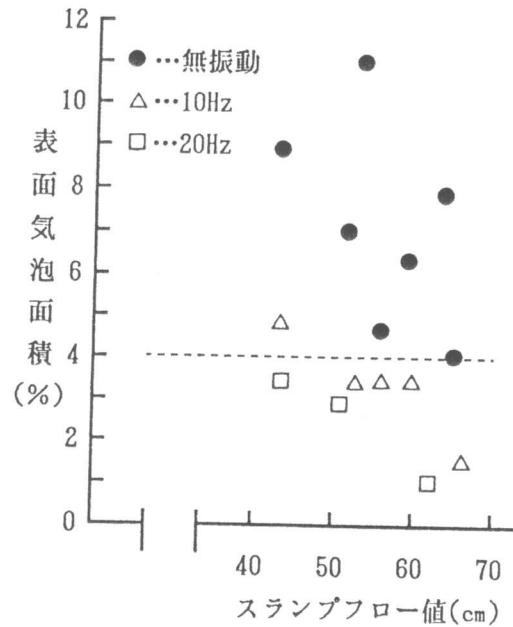


図-6 微振動によるスランブフローと表面気泡との関係

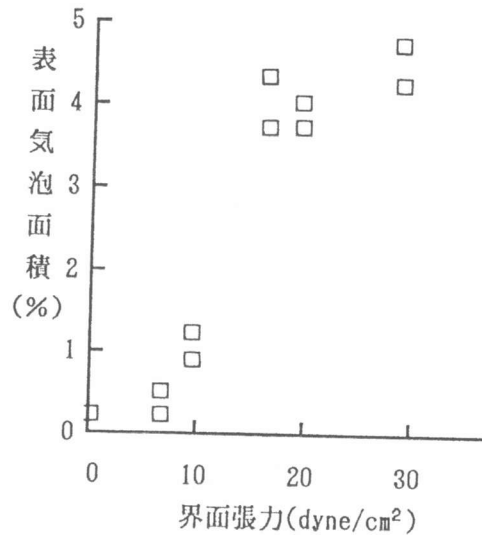


図-7 剝離剤とセメント飽和水溶液の界面張力と表面気泡面積の関係