

正会員 ○北田正夫 同菅英雄 同押田文雄
(株式会社 竹中工務店)

1 はじめに

流動化コンクリートは、軟練りコンクリートの品質改善および良好な施工性の確保を目的に、「高性能減水剤遅延添加剤」として筆者らが提案し、昭和50年に最初に実用化して以来、わが国で急速に普及しつつある工法である。現在、数種類の遅延添加剤の流動化剤が市販されており、建築工事における低スランプ化の傾向が強まるにつれて、今後さらに流動化コンクリートの使用が増加する傾向にある。

本報告は、流動化コンクリートの諸性質に関するこれまでの広範囲な研究結果に未発表のデータを加えて、流動化コンクリートのワーカビリティ、ポンプ圧送性および硬化後の諸性質についてまとめたものである。

2 各種流動化剤を用いた流動化コンクリートのワーカビリティ

2.1 実験方法

流動化によるスランプ増大量および流動化後のスランプの経時変化に及ぼす温度の影響を明らかにするため、市販の代表的な流動化剤5種類を用い、スランプ12cm、水セメント比5%のベース調合について5~30℃の温度範囲で試験を行なった。流動化剤は表-1に示すC.C.Aの分類¹⁾によるカテゴリ-A(メラミン系 A₁)とB(ナフタレン系 B₁~B₄)の5種類で、添加量はメーカーの推奨する標準量とした。

ベースコンクリートの練り混ぜ15分後に所要量の流動化剤を添加して流動化し、その後、コンクリートを60ℓの傾筒式ミキサーに移して2¹⁾分/分で低速回転させ、流動化後60分までの経時変化の実験を行なった。

2.2 実験結果

コンクリート温度とスランプ増大量の関係を図-1に、温度別のスランプの経時変化を図-2に示す。

本実験の結果では、流動化によるスランプ増大量にはコンクリート温度および流動化剤の種類による差は少なく、実用上の問題はないと考えられる。しかし、流動化後のスランプの経時変化に対する温度の影響は著しく、いずれの流動化剤でも5℃では20℃よりスランプ低下はやや小さく、30℃では30分後で6~9cm、60分後で9~14cmと非常に大きな低下を示した。また、温度が高くなるにつれて流動化剤の種類による差が大きくなり、とくに30℃では、標準形と遅延形の流動化剤の差が顕著に認められた。なお、メラミン系とナフタレン系の成分による差はほとんどなかった。スランプフロー、空気量の経時変化はスランプとはほぼ同様の傾向であり、

表-1 実験に用いた流動化剤

| 記号 | 主成分 | 添加量(%) | 備考 |
|----------------|-------------------------|--------|-----|
| A ₁ | メラミンホルムアルデヒド 硫酸塩高縮合物 | 1.2 | 標準型 |
| B ₁ | | 0.6 | |
| B ₂ | ナフタレンホルムアルデヒド | 0.5 | 遅延型 |
| B ₃ | 硫酸塩高縮合物 | | |
| B ₄ | | | |

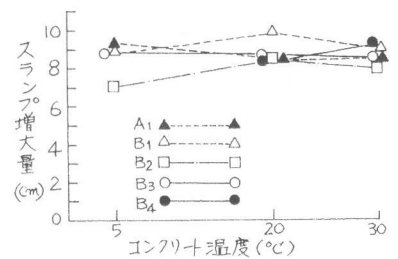


図-1 温度とスランプ増大量の関係

4週圧縮強度については、いずれの温度でも経時的な強度低下は少なく、流動化剤の種類による差も認められなかった。

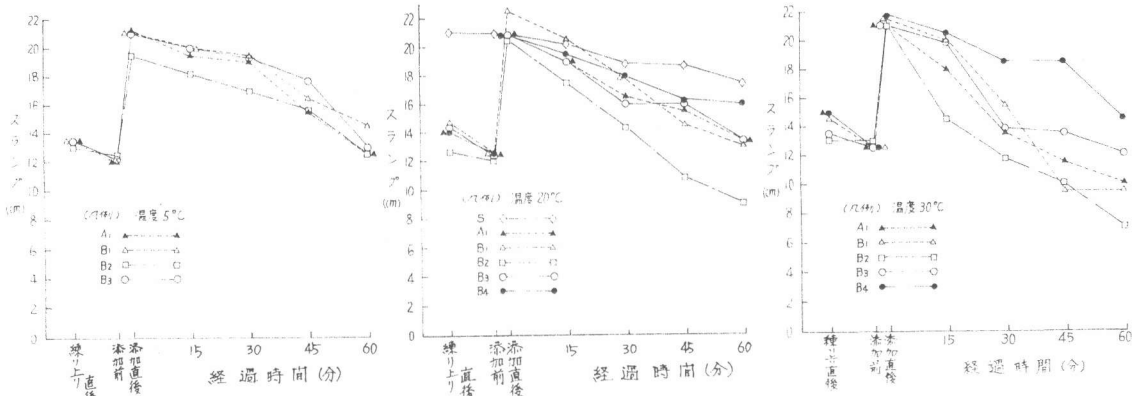


図-2 温度別のスランプの経時変化

3 流動化コンクリートのポンプ圧送性

3.1 実験方法

流動化コンクリートのポンプ圧送性を定量的に把握するため、普通および軽量コンクリートについて、スランパと流動化剤の添加量を変えて、管径5インチ、実長113mの水平圧送実験を行ない、圧送前後のコンクリートの品質、コンクリートポンプの圧送負荷および圧送抵抗について通常のコンクリートと比較した。

コンクリートの調合を表-2に示す。流動化剤には表-1のナフタレン系B₂を使用した。図-3は実験用配管を示す。

3.2 実験結果

1) スランパの変化

圧送前後のスランパの変化は、普通・軽量コンクリートともに、流動化コンクリートは通常のコンクリートよりスランパ低下がやや大きい程度であり、圧送後でも通常の軟練りコンクリートと同等の施工性が得られることが判った。しかし、軽量コンクリートでは、ベース調合のスランパが小さいと圧送によるスランパロスが非常に大きくなる場合があるので、ベース調合のスランパを普通コンクリートの場合より大きくし、ある程度以上の単位水量を確保する必要があると考えられる。

2) 圧送負荷

ベース調合と流動化後の圧送負荷（ピストン前面圧）を図-4に示す。普通コンクリートでは、流動化による圧送負荷の低減効果は非常に大きく、流動化後のスランパ14~21cmの圧送負荷は、スランパ12cmのベース調合より25~35%も減少した。軽量コンクリートでは、スランパ15cmまたは18cmのベースをスランパ23cmに流動化することにより、圧送負荷は約15%減少した。

3) 圧送抵抗

流動化後および通常のコンクリートのスランパ、吐出量および圧送抵抗（管内圧力損失）の関係を図-5に示す。普通コンクリートでは、流動化後の圧送抵抗は通常のコンクリートより極端に小さく、スランパ21cmの通常のコンクリートに対して、流動化後のスランパ15cmと同程度、スランパ21cmでは約15%圧送抵抗は小さい。軽量コンクリートでは、スランパ23cmの流動化コンクリートの圧送抵抗は、スランパ15~18cmのベース調合に対して10~20%小さく、スランパ21cmの通常のコンクリートと同程度である。また、軽量コ

表-2 実験に用いたコンクリートの調合

| コンクリートの種類 | スランパ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | S/W (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | |
|-------------|-----------|---------|---------|---------|--------------------------|------|-----|------|
| | | | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
| 普通コンクリート | 8 | | | 4.70 | 176 | 294 | 845 | 1101 |
| | 18 | 4 | 6.0 | 4.70 | 195 | 325 | 808 | 1053 |
| | 21 | | | 4.85 | 210 | 350 | 805 | 990 |
| 高流動コンクリート | 8 | | | 4.70 | 176 | 294 | 845 | 1101 |
| | 12 | 4 | 6.0 | 4.85 | 183 | 305 | 857 | 1053 |
| | 15 | | | 4.85 | 190 | 317 | 845 | 1055 |
| 軽量コンクリート | 15 | | | 5.10 | 193 | 351 | 867 | 516 |
| | 18 | 4 | 5.5 | 5.10 | 200 | 364 | 855 | 506 |
| | 21 | | | 5.10 | 209 | 380 | 837 | 495 |
| 高流動軽量コンクリート | 15 | 4 | 5.5 | 5.10 | 193 | 351 | 867 | 516 |
| | 18 | | | 5.10 | 200 | 364 | 855 | 506 |

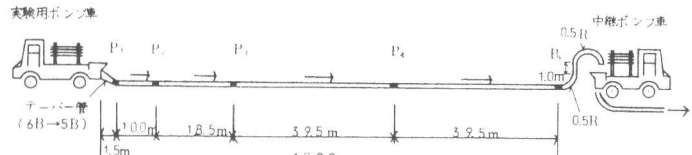


図-3 ポンプ車、配管および管内圧力測定位置

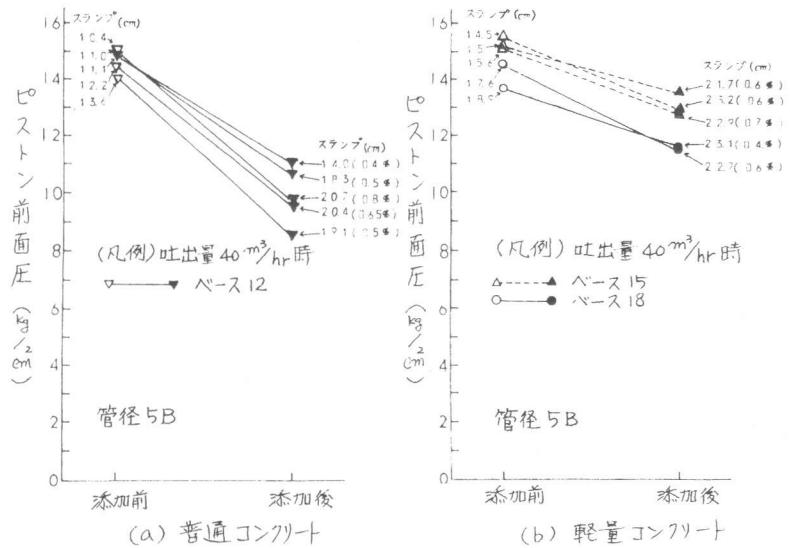


図-4 流動化剤添加前後のピストン前面圧

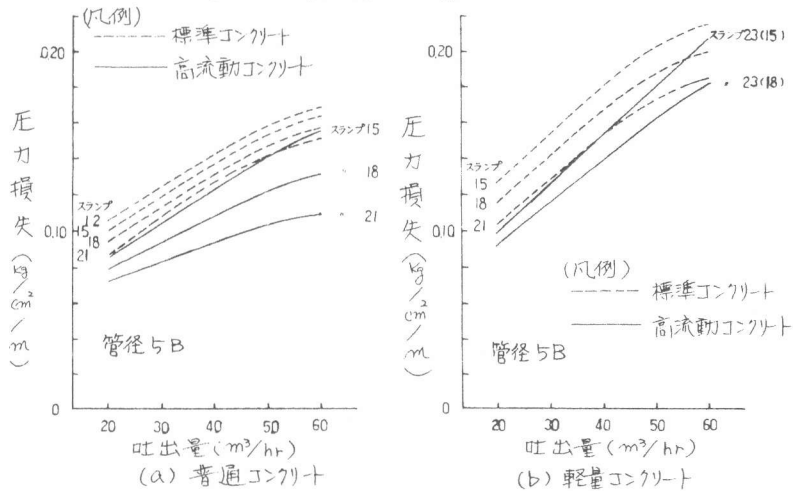


図-5 スランパ吐出量および圧力損失の関係

ンクリートの圧送抵抗と吐出量の関係は普通コンクリートと異なるが、これはベースのスランジ、流動化剤の添加量、粗骨材の圧力吸水性状等の違いによると考えられる。なお、流動化コンクリートのポンプ圧送性に関する定量的な報告は極めて少なく、今後は垂直圧送も含めてさらに検討を進める必要がある。

4 流動化コンクリートの硬化後の諸性質

流動化コンクリートの諸性質を確認するため、圧縮、引張、付着の諸強度および耐熱性、圧縮クリープ、凍結融解抵抗性等の硬化したコンクリートの諸性質に関する実験を行ない、通常の軟練りコンクリートと比較した。

4.1 流動化コンクリートの諸強度

1) 実験方法

流動化コンクリートの圧縮強度に及ぼす養生温度の影響、引張および付着強度を明らかにするため、水セメント比50, 60, 70%、スランジ12cmのベース調合について試験を行ない、スランジ21cmの通常の軟練りコンクリートと比較した。

セメントは普通ポルトランドセメント、細粗骨材は大井川産の砂、砂利、表面活性剤はAE剤を使用し、流動化剤にはナフタレン系の市販品を用いた。

表-3に流動化コンクリートと軟練りコンクリートの調合およびスランジ、空気量の試験結果を示す。

表-3 コンクリートの調合およびスランジ、空気量の試験結果

| 種別 | W/C (%) | スランジ (cm) | S/A (%) | 単体量 (kg/m ³) | | スランジ (cm) | | 空気量 (%) | |
|---------------|---------|-----------|---------|--------------------------|------|-----------|------|---------|-----|
| | | | | 水 | セメント | 添加前 | 添加後 | 添加前 | 添加後 |
| 流動化 コンクリート | 50 | 12 | 41 | 165 | 330 | 12.9 | 21.6 | 5.0 | 4.3 |
| | 60 | 12 | 43 | 164 | 273 | 12.6 | 20.3 | 4.4 | 4.2 |
| | 70 | 12 | 46 | 170 | 243 | 12.0 | 20.0 | 4.7 | 4.3 |
| 軟練り コンクリート | 50 | 21 | 41 | 188 | 376 | 20.7 | | 3.2 | |
| | 60 | 21 | 43 | 186 | 310 | 20.9 | | 3.7 | |
| | 70 | 21 | 46 | 189 | 270 | 20.7 | | 4.1 | |

ベースコンクリートの練りませ15分後にセメント重量の2.5%の流動化剤を添加して1分間攪拌した。流動化剤の添加前後および軟練りコンクリートの練りませ直後に試料を採取し、まだ固まらないコンクリートの試験および供試体の成型を行なった。養生温度別の圧縮強度は、脱型後の供試体を5、20および30℃の恒温水槽で水中養生し、枚令4週で試験した。引張強度は、φ10×20cmの供試体を用い、枚令4週まで20℃の水中で養生し、割裂法で試験した。鉄筋とコンクリートの付着強度は、15×15×15cmの供試体にφ16の丸鋼を埋め込み、枚令4週まで20℃の水中で養生し、ASTMの方法に従って引き抜き試験を行なった。

2) 実験結果

水セメント比と圧縮強度の関係を図-6に、圧縮強度と引張強度の関係を図-7に、圧縮強度と最大付着強度の関係を図-8に示す。

流動化コンクリートの圧縮強度と水セメント比の関係は、軟練りコンクリートと同様に、いずれの養生温度でもほぼ直線的である。また、養生温度の違いによる強度差は、いずれの水セメント比においても同程度である。なお、水セメント比50および60%において、流動化コンクリートの強度が軟練りコンクリートよりやや低いのは、空気量の影響によるものと考えられる。

流動化コンクリートの引張強度は、水セメント比によるばらつきは見られるが、軟練りコンクリートとの大きな差はない。また、圧縮強度と引張強度との関係はいずれも図中の赤沢式とほぼ同程度である。

流動化コンクリートの付着強度は軟練りコンクリートと同程度で、いずれも圧縮強度の増加とともにほぼ直線的に増加している。

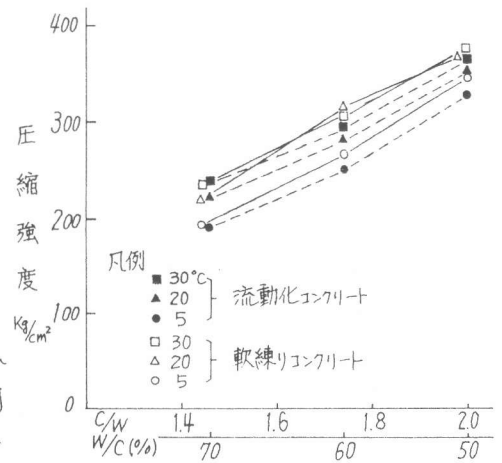


図-6 水セメント比と圧縮強度の関係

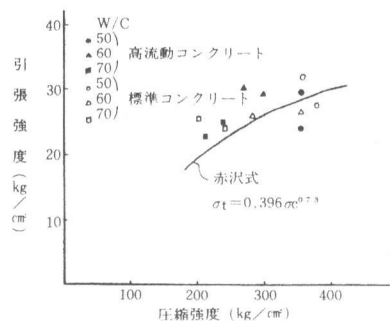


図-7 圧縮強度と引張強度の関係

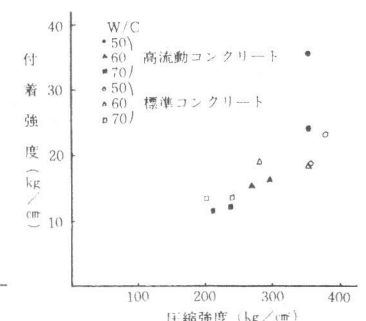


図-8 圧縮強度と付着強度の関係

4.2 流動化コンクリートの耐久性

1) コンクリートの耐熱性

十分乾燥させた10cm立方のはり切片供試体を用いて、枚令6ヶ月から300℃で100日間加熱後の圧縮強度試験を行なった。

コンクリートの調合と試験結果を表-4に示す。流動化剤はナフタレン系を用いた。流動化コンクリートの強度残存率は78~81%で、NON AE, AEのいずれも標準コンクリートより大きく、流動化コンクリートの耐熱性はやや優れていることが判った。

2) 圧縮クリープ

4.1の諸強度の実験と同時に、水セメント比60%について、流動化前後と軟練りコンクリートの圧縮クリープ試験を行なった。供試体はφ10×20cmのシリンドラーで、枚令4週から20週、65% R.H.の恒温恒湿室内で圧縮式クリープ試験機により一定荷重（ネガ：112 kg/cm²）を載荷し、コンタクトスト

レインゲージでひずみを測定した。試験結果を図-9に示す。流動化コンクリートの単位クリープは、長期に及びベースコンクリートよりやや大きいが、軟練りコンクリートとは同程度である。また、載荷後1年でのクリープ係数は、流動化前後はいずれも3.55で、軟練りの3.87より小さかった。なお、圧縮クリープに及ぼす流動化剤の影響は小さいという報告³⁾もあるが、これに関する文献は非常に少ないので、今後の研究課題の一つであろう。

3) 凍結融解抵抗性

圧縮クリープ試験と同時に、10×10×40cmの角柱供試体を用いて、枚令4週よりASTM C 666 A法により水中凍結水中融解の試験を行ない、動弾性係数の変化を測定した。その結果、流動化後の相対動弾性係数はベース調合よりやや大きく、軟練りコンクリートと同程度であった。また、試験開始枚令が遅かったため、試験サイクルの増加による動弾性係数の低下はほとんどなかった。なお、これに関する文献も極めて少なく、とくに、初期枚令からの厳しい条件下での性状を明らかにする必要があると考えられる。

5 まとめ

流動化コンクリートの諸性質に関する一連の研究結果から、以下のような結論が得られた。

- 1) いずれの流動化剤においても、流動化効果に及ぼす温度の影響は小さい。流動化後のワーカビリティの経時的な低下は温度が高いほど大きく、とくに30℃では流動化剤の種類による差が認められた。
- 2) 流動化による圧送負荷および圧送抵抗の低減効果は、普通コンクリートでは極めて大きい。軽量コンクリートでは普通コンクリートより圧送抵抗の低減効果は小さく、吐出量と圧送抵抗の関係も異なっている。
- 3) 流動化コンクリートの硬化後の諸性質も通常の軟練りコンクリートと比較すると、養生温度別圧縮強度、割断引張強度、鉄筋との付着強度、圧縮クリープおよび凍結融解抵抗性は同程度であり、耐熱性はやや優れている。

参考文献

- 1) "Superplasticizing admixtures in concrete" C.C.A Publication, London, U.K.
- 2) 橋本、田中ほか「硬練り人工軽量コンクリートの高性能減水剤選送添加による水平圧送実験」建築学会大会, 昭和51年10月
- 3) J.J. Brooks, P.J. Wainwright and A.M. Neville "Time-Dependent Properties of Concrete Containing MIGHTY Admixture", Proceedings of an International Symposium on Superplasticizers in Concrete, Ottawa, Canada, May 29-31, 1978

表-4 耐熱性試験結果

| 調合・試験 種別 | 結果 | W/C (%) | 単位 セメント量 (kg/m ³) | 単位 水量 (kg/m ³) | 流動化剤 添加量 (kg/m ³) | スランプ (cm) | 減水率 (%) | 耐熱強度 (kg/cm ²) | | |
|---------------|-----------|------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------|------------|----------------------------|--------------|-------------|
| | | | | | | | | 加熱前 | 加熱後 | |
| 標準 コンクリート | 硬練り | 57.9 | 280 | 162 | — | 7.5 | — | 434 (100) | 326 (75) | |
| | 軟練り | 62.7 | 300 | 188 | — | 18.2 | — | 385 (100) | 293 (76) | |
| 流動化 コンクリート | NON AE | 硬練り | 52.1 | 280 | 146 | 1.4 | 7.3 | 10.9 | 526 (100) | 411 (78) |
| | | 軟練り | 55.0 | 300 | 165 | 1.5 | 17.9 | 12.3 | 459 (100) | 372 (81) |
| | AE | 硬練り | 48.2 | 280 | 135 | 1.4 | 7.3 | 16.7 | 532 (100) | 426 (80) |
| | | 軟練り | 49.3 | 300 | 148 | 1.5 | 17.4 | 21.3 | 517 (100) | 406 (79) |

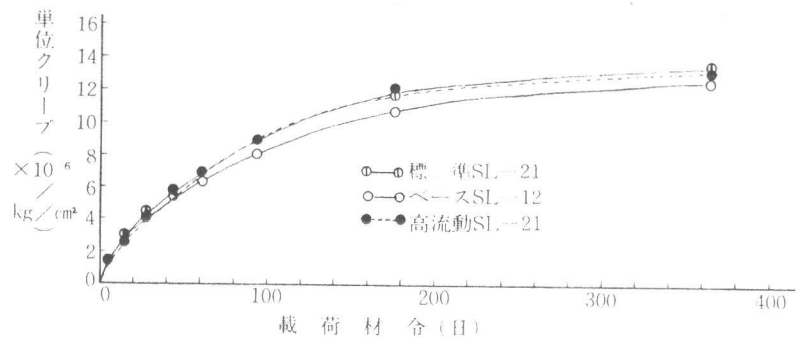


図-9 圧縮クリープ試験結果