

[11] 水溶性高分子の混和によりブリージングを抑制したコンクリートの性質

正会員 中里吉明（鹿島建設国際事業本部）
 正会員 ○本橋賢一（鹿島建設技術研究所）
 正会員 大野俊夫（鹿島建設技術研究所）

1.はじめに

ブリージングは、まだ固まらない状態においてコンクリートを構成する材料の比重差が原因となって、水が上昇する現象であり、これを制御することは一般に困難とされていた。

筆者らは、ある種の水溶性高分子がモルタルや注入材の保水性を向上させる性質を有することに着目し、水溶性高分子を混和することによりコンクリートのブリージングを抑制する研究を行ってきた。その結果、セルロースエーテルを主成分とする水溶性高分子（以後、SP-Aと略称する）を単位水量の0.6重量%添加すると、ブリージング率は検出できないほど小さくなることが明らかとなった³⁾。

本報文は、水溶性高分子SP-Aの添加がブリージングをはじめとしてコンクリートの基本的性質に及ぼす影響を検討した実験結果と、SP-Aの添加によりブリージング率が検出できないほど小さくなったコンクリート（以後、ノンブリージングコンクリートと呼ぶ）のクリープ・乾燥収縮などに関する実験結果を報告する。

2. 水溶性高分子SP-Aの添加がコンクリートの基本的性質に及ぼす影響

2.1 実験方法

実験は直交表²⁷を用いて行った。要因と水準を表-1に、要因の割りつけを表-2に示す。ここで、DA-Xとはトリプチルフォスフェイトを主成分とした液状消泡剤の略称である。

コンクリート材料は、普通セメント、川砂利（Gmax 25 mm、比重2.65）、川砂（FM2.96、比重2.62）、A-E減水剤（ボゾリスNo.5L）を使用した。また、近年流動化コンクリートの使用が増加する傾向がみられるから、メラミンホルマリン樹脂スルホン酸塩系の高性能減水剤の後添加量を要因に加えた。

試験項目は、ブリージング率、スランプ、空気量、圧縮強度（ σ_7 、 σ_{28} 、 σ_{91} ）、引張強度（ σ_{28} ）及び静弾性係数（圧縮強度の1/3の応力度におけるセカントモジュラス）をとりあげた。

練りませ及びまだ固まらない状態におけるコンクリートの試験は温度20°C、湿度80%の条件室内で実施した。

2.2 実験結果

得られた実験データを分散分析し、各要因の寄与率の評価を行うとともに、主な試験項目について直交多項式の展開を用いて実験式を作成した。なお、強度及び静弾性係数に関しては供試体個々の試験値を用いて解析を行った。

(1) まだ固まらないコンクリートの性質

ブリージング率に関して危険率5%で有意と判定された要因の効果図は図-1に示すとおりである。同図から、SP-A添加量がブリージング率に及ぼす影響は他の要因のそれに比べて大きいこと、及びSP-A添加量が単位水量の0.0%から0.3重量%、さらに0.6重量%に変化するのに伴い、ブリージング率が約3%、約1%、約0%に減少することが分かる。事実、SP-Aを単位水量の0.6重量%添加すると、他の要因にかかわらずブリージング率は検出できないほど小さくなかった。そのコンクリートの状況は、コンクリート

表-1 要因と水準

| 要因 | 水準 | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| A. 単位水量 | 155 kg/m ³ | 165 kg/m ³ | 175 kg/m ³ |
| B. 水セメント比 | 45% | 55% | 65% |
| C. SP-A添加量 | 0 | W×0.3重量% | W×0.6重量% |
| D. DA-X添加量 | 0 | W×0.05容積% | W×0.1容積% |
| E. 高性能減水剤の後添加量 | 0 | 400cc/C-100kg | 800cc/C-100kg |

表-2 要因の割りつけ

| 順番 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|-------------|-----|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|-----|---------------|---------------|-----|
| C. | A | A | A | B | B | B | C | C | D | D | D | E | E |
| 水セメント比 | 45% | 55% | 65% | 45% | 55% | 65% | 45% | 55% | 65% | 45% | 55% | 65% | 45% |
| SP-A添加量 | 0 | W×0.3重量% | W×0.6重量% | 0 | W×0.05容積% | W×0.1容積% | 0 | W×0.3重量% | W×0.6重量% | 0 | W×0.05容積% | W×0.1容積% | 0 |
| 高性能減水剤の後添加量 | 0 | 400cc/C-100kg | 800cc/C-100kg | 0 |

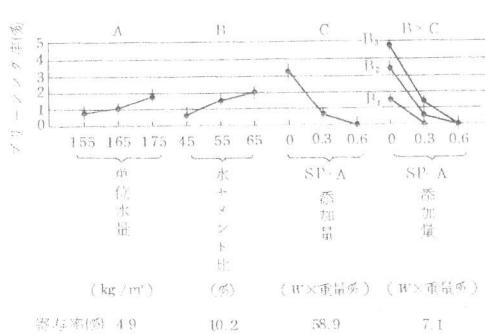


図-1 ブリージング率の要因効果

上表面への水のしみ出しが観察されず、容器を傾けても低い方へ水が移動する兆候が全く観察されないというものであった。

空気量は、SP-Aを単位水量の0.6重量%添加すると10%以上となつたが、DA-Xを単位水量の0.05~0.10容積%併用すると3~4%程度に減少した。

スランプに関して危険率5%で有意と判定された要因は、とりあげたすべての要因の主効果と、単位水量とSP-A添加量の交互作用であり、特に単位水量の影響が大きく、その寄与率は約70%であった。また、SP-Aの添加はスランプを増大させ、DA-Xの添加はスランプを減少させる傾向を示した。これは両剤の空気量に対する増減作用によるものと推測されたことから、危険率5%で有意と判定された要因をとりこんだ実験式を求め、この式を用いて、SP-A、DA-Xとも無添加のコンクリート（以後、無添加コンクリートと呼ぶ）とノンブリージングコンクリート（SP-A及びDA-Xを単位水量に対してそれぞれ0.6重量%、0.05または0.10容積%添加）において、同一スランプを得るために必要な単位水量を試算した。目的変数であるスランプと説明変数である要因を数水準に動かして単位水量を求めた結果の一例は表-3中に示すとおりであり、2種類のコンクリートの単位水量の差は±2 kg/m³程度であった。

(2) 強度及び静弾性係数

圧縮強度に関して危険率5%で有意と判定された要因の効果図は図-2に示すとおりである。同図から、水セメント比とDA-X添加量の寄与率が他の要因のそれに比べて大きいことが分かり、両者の寄与率の和は材令により異なるものの78~87%であった。このことは、セメント空隙比と圧縮強度とが強い相関を有することを示唆すると考えられた。そこで、水セメント比と実測したまだ固まらない状態における空気量を用いてセメント空隙比を計算し、これと材令28日圧縮強度との関係をプロットしたのが図-3である。同図から、両者の相関係数は0.943であり、セメント空隙比が大きくなるほど材令28日圧縮強度が増大する傾向が明らかである。さらに、セメント空隙比と材令28日圧縮強度において、SP-Aの添加の有無による顕著な相違は認められない。これらについては、材令7日及び材令91日の圧縮強度に関しても同様であった。

圧縮強度と引張強度との関係を図-4に、圧縮強度と静弾性係数との関係を図-5に示す。両図から、引張強度及び静弾性係数を圧縮強度との割合でみた場合、SP-Aの添加の有無による

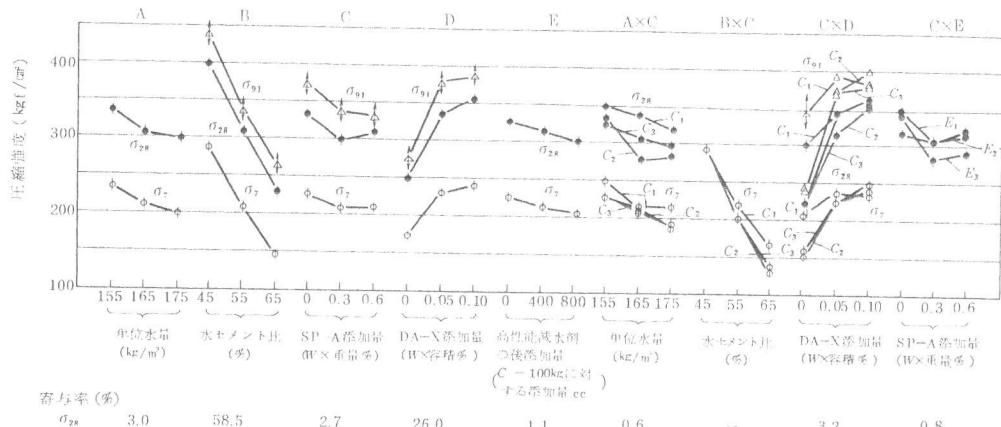


図-2 圧縮強度の要因効果

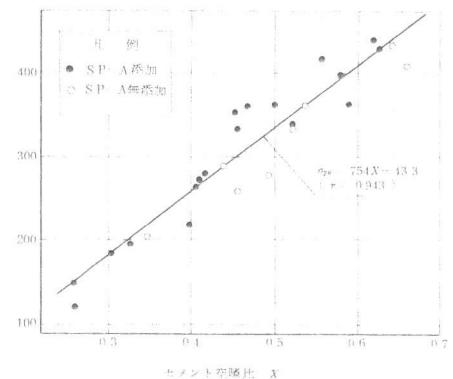


図-3 セメント空隙比と材令28日圧縮強度との関係

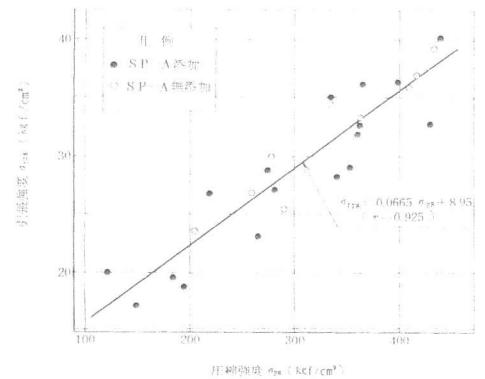


図-4 圧縮強度と引張強度との関係

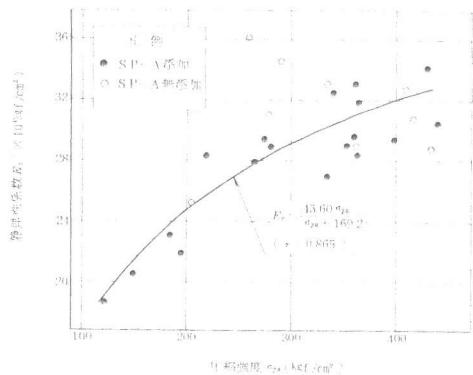


図-5 圧縮強度と静弾性係数との関係

表-3 無添加コンクリートとノンブリージングコンクリートにおける単位水量、空気量及び圧縮強度の推定値

| 種類 | 単位水量 (kg/m ³) | 空気量 (%) | 圧縮強度 (kgf/cm ²) |
|---|------------------------------|------------|--------------------------------|
| 無添加コンクリート (SP-A, DA-Xとも無添加) | 16.4 | 5.3 | 29.5 |
| ノンブリージングコンクリート (SP-A: W×0.6重量率) (DA-X: W×0.05容積率) | 16.2 | 4.1 | 31.1 |
| ノンブリージングコンクリート (SP-A: W×0.6重量率) (DA-X: W×0.1容積率) | 16.6 | 1.8 | 35.0 |

条件: スランプ 15 cm, ボヤメント 15.5 %,
高性筋減水剤の後添加量 400 cc/C = 100 kg

表-4 配合表

| 種類 | 粗骨材 最大粒径 (mm) | スランプ (cm) | セメント 量 (kg) | 水 量 (kg) | 単位水量 (kg/m ³) | 試験結果 | |
|-----------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | | | | | | スランプ 寸法 (cm) | 圧縮強度 (kgf/cm ²) |
| 無添加 コンクリート | 25 | 12±2 | 18±2 | 4±1 | 55 | 43 | 158/287 C×0.23% |
| ノンブリージングコンクリート | 25 | 12±2 | 18±2 | 4±1 | 55 | 43 | 158/287 C×0.25% 市量率 |
| 無添加 コンクリート (DA-X: W×0.1容積率) | 25 | 12±2 | 18±2 | 4±1 | 55 | 43 | 158/287 C×0.6 容積率 |

顯著な差は認められない。

今回の実験結果から直交多項式の展開を用いて実験式を作成し、無添加コンクリートとノンブリージングコンクリートの主要な物性値を推定した。結果の一例は表-3に示すとおりである。

3. ノンブリージングコンクリートの硬化後の性質

3.1 実験方法

ノンブリージングコンクリートの硬化後の性質を、SP-A及びDA-Xを用いない以外は配合の等しい無添加コンクリートのそれと比較した。配合は表-4に示すとおりである。

使用材料は前章の実験で用いたものと同様である。

試験項目は、クリープ、乾燥収縮、凍結融解及び硬化コンクリートの気泡径分布である。

クリープ試験体はφ10×20cmであり、その養生は、材令7日まで標準水中養生、以後条件室内(21±1°C, 60%RH)で気乾養生とした。試験体は載荷前日に表面をエポキシ樹脂でコーティングし、材令28日において圧縮強度の1/3に相当する応力を加え、維持した。

乾燥収縮試験体は10×10×40cmであり、標準水中養生の後、材令7日から上記条件室内で試験を開始した。

凍結融解試験は材令28日まで標準水中養生した10×10×40cmの試験体についてASTM C 666に準じて行った。

硬化コンクリートの気泡径分布試験はASTM C 457に準じて行った。試験した観察面は、材令28日まで標準水中養生したコンクリート(φ15×30cm)の上下部から5cm離れた2面とした。

3.2 実験結果

現在、試験体作製後6ヶ月弱を経過しており、試験を継続中のものもあるが、得られている結果を述べる。

(1) クリープ

クリープ試験の結果は図-6に示すとおりであり、ノンブリージングコンクリートのクリープ係数は無添加コンクリートのそれに比べて大きい。両者のクリープ係数の差は材令4週以後約0.2とほぼ一定であり、材令4.5ヶ月におけるクリープ係数はそれぞれ約1.5、約1.3であった。

(2) 乾燥収縮

乾燥収縮試験の結果は図-7に示すとおりである。ノンブリージングコンクリートの乾燥収縮ひずみは無添加コンクリートのそれに比べて大きく、材令5ヶ月における乾燥収縮ひずみはそれぞれ約860μ、約630μであった。

(3) 凍結融解

凍結融解試験の結果は図-8に示すとおりである。300サイクル経過後の耐久性指数は無添加コンクリ

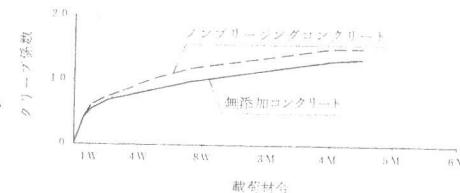


図-6 クリープ試験結果

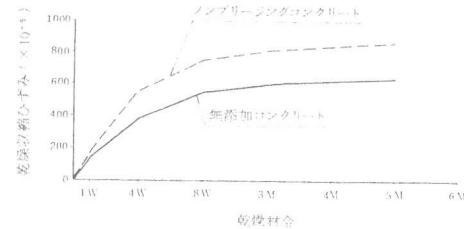


図-7 乾燥収縮試験結果

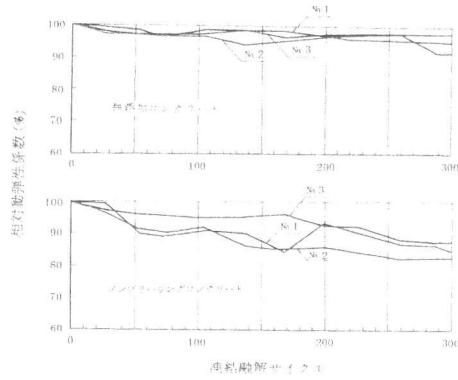


図-8 凍結融解試験結果

ートで90以上であるのに対し、ノンブリージングコンクリートで約85であった。次項(4)で述べるとおり、両コンクリートの気泡間隔係数はほぼ同程度であることから、両コンクリートの耐久性指数の差はAEコンクリートにおいて一般に言われている気泡間隔係数の大小で説明することは難しいものと思われる。

(4) 硬化コンクリートの気泡径分布

硬化コンクリートの気泡径分布試験の結果（2断面の平均値）は図-9に示すとおりである。気泡間隔係数は、無添加コンクリート及びノンブリージングコンクリートでそれぞれ 549μ 、 578μ であり、気泡径分布図の形状に大きな差はみられなかった。

以上述べたとおり、ノンブリージングコンクリートは配合の等しい無添加コンクリートと比較した場合、クリープ及び乾燥収縮が大きく、耐久性指数がやや小さいという結果であった。無添加コンクリートはブリージングにより硬化体中に占める水の体積が減少し、硬化体のセメント空隙比は練りませ時に比べ増加することが、クリープ、乾燥収縮、凍結融解に有利に作用したとも考えられる。しかし、今回実験に供した無添加コンクリートにおいてブリージングによる単位水量の減水量は 4 kg/m^3 程度(158×0.027)と推測され、一般的には普通のコンクリートにおいてこの程度の単位水量が相違しても、クリープ、乾燥収縮、凍結融解に今回の試験結果ほどの大きな差は生じないであろう。したがって、これらを明らかにするには、今回光学顕微鏡で調べ得たものよりさらに小さな空隙の分布状態を調べるとともに、水溶性高分子SP-Aのセメント硬化体中における分布及びその状態を検討することなどが必要と考える。

4.まとめ

セルロースエーテルを主成分とした水溶性高分子（略称SP-A）を混和することによりブリージングを抑制したコンクリートの性質を検討した。実験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 水溶性高分子SP-A及び消泡剤DA-Xを単位水量に対してそれぞれ0.6重量%及び0.05~0.10容積%添加することにより、ブリージング率が検出できないほど小さく、かつ空気量が3~4%程度であるコンクリートが得られた。これを、ノンブリージングコンクリートと呼ぶ。
- (2) ノンブリージングコンクリートは単位水量の等しい無添加コンクリート（SP-A、DA-Xとも無添加）とほぼ同様のスランプを示した。しかし、ノンブリージングコンクリートは粘性が大きく、ポンプ圧送性や振動締固めのし易さは同一スランプの無添加コンクリートに比べてやや劣ると思われた。
- (3) ノンブリージングコンクリートの圧縮強度は、水セメント比とまだ固まらない状態における空気量とから求めたセメント空隙比が等しい無添加コンクリートのそれと同様であった。圧縮強度と引張強度及び静弾性係数との関係は、ノンブリージングコンクリート、無添加コンクリートにかかわらず同様であった。
- (4) ノンブリージングコンクリートは無添加コンクリートに比べて、①クリープが約15%大きい、②乾燥収縮が約35%大きい、③凍結融解抵抗性がやや劣る、という結果を示した。したがって、これを使用する場合には、構造物の種類や環境条件を考慮する必要がある。

ノンブリージングコンクリートは、逆巻工法における打継目の品質を改善することを目的として検討したものである。ブリージングに起因するコンクリート構造物の欠陥や品質不良は、逆巻工法における打継目の品質不良以外にも様々なものがあり、ノンブリージングコンクリートはこれらの課題を解決する一策となると考える。

- 1) 芝崎保；水溶性高分子物質をえた左官用セメントについて、セメント技術年報XVII, 1963
- 2) Hansen,W.C.; Oil Well Cements, Proceedings of the Third International Symposium on the Chemistry of Cement, Cement and Concrete Association, London, Sept. 1952
- 3) 小谷一三、中里吉明、本橋賢一；逆巻コンクリートの打継目の付着強度に関する基礎実験、鹿島建設技術研究所年報 Vol.31, Jun.1983

