

論文 ブリーディング抑制型 AE 減水剤によるコンクリートの表層品質の向上効果

小林 聖^{*1}・渡邊 賢三^{*2}・坂田 昇^{*3}・細田 暁^{*4}

要旨: コンクリートの表層品質向上のための一手法として、ブリーディング抑制型 AE 減水剤を用いることで、簡易にブリーディングが抑制できる手法を開発した。この手法を普通コンクリートおよびダムコンクリートに適用して実構造物の施工を行った。その結果、ブリーディング抑制型 AE 減水剤を用いたコンクリートは、施工性能に影響することなくブリーディングを抑制することが可能であった。また、コンクリート表面の気泡面積率が減少し、透気係数も低下する結果が得られたことから、ブリーディングを抑制することで、コンクリートの表層品質が向上する可能性が示された。

キーワード: ブリーディング, AE 減水剤, 表層品質, ポンプ圧送性, ダムコンクリート

1. はじめに

コンクリート構造物は、コンクリート中に劣化因子が侵入して補強鋼材が腐食したり、コンクリート自体が変質することで、その品質が低下していく。劣化因子はコンクリートの表層から内部に侵入することから、構造物の品質確保という観点において、コンクリートの表層品質の向上を図ることが、非常に重要となる。

一方、表層部、すなわちかぶり部分は、部材の中心部に打ち込まれ、鉄筋間を通過したコンクリートで形成される。そのため、かぶりには材料分離が生じやすく、ブリーディングが過多となる場合があり、**写真-1**に示すような、砂すじ、のろ漏れなどの変状が発生しやすくなる。さらに過剰なブリーディング水は表層部の水セメント比の増大を招き、コンクリート構造物の表層品質を低下させる可能性が高い。

また、近年では良質な骨材が得られにくいことから、コンクリートの流動性確保のために単位水量を多くするケースや、耐震性確保のために高密度配筋となった部材へ過度の振動締め固めを行ってコンクリートを充填するケースなどが散見され、過剰なブリーディング水の発生が問題となる場合も多い。

現在ブリーディング抑制として適用されている対策として、(1)石灰石微粉末を細骨材に置換して使用、(2)強度ランクを上げることによる単位セメント量の増加、(3)高性能 AE 減水剤の使用による単位水量の低減が一般的である。実際の施工現場においては、これらの対策のメリット・デメリットを考慮しつつ、各現場の条件、プラントの設備および目標とするブリーディングの抑制の程度などを勘案し、適切な対策を単独もしくは複合して使用している。しかしながら、(1)については、石灰石微粉

末用のサイロが必要であるためコストがかかる。また、(2)については、セメント量が多くなることで、特に土木のマスコンクリートにおいては温度応力によるひび割れ発生確率が高くなる可能性が懸念される。さらに、(3)については、一般的にスランプの小さいコンクリートには高性能 AE 減水剤が使用できない。以上のように従来の対策にはデメリットも多く、簡易にかつ安価にブリーディングを抑制する手法がないのが現状である。

そこで、新たにブリーディング抑制型 AE 減水剤（以降、改良型 AE 減水剤と称す）を使用してブリーディングを抑制する手法について検討を行った。本手法は、プラントで使用している通常の AE 減水剤を、JIS A 6204 に適合する改良型 AE 減水剤に変更するだけであることから、コンクリートの仕様を変えることなくブリーディングが抑制できる。本手法にかかるコストとしては、プラントの混和剤貯蔵タンクの入替え費用程度であり、非常に簡易かつ安価にブリーディングが抑制できる手法となる。本稿では、この改良型 AE 減水剤を用いたブリーディング抑制手法について、その概要と実構造物に初適用した結果を報告する。

2. 改良型 AE 減水剤

改良型 AE 減水剤はポリカルボン酸系化合物に界面活性剤系特殊増粘剤を含有したもので、JIS A 6204 の AE



写真-1 表層の変状

*1 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 修士(工学) (正会員)

*2 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 博士(工学) (正会員)

*3 鹿島建設(株) 土木管理本部 土木技術部長 博士(工学) (正会員)

*4 横浜国立大学 大学院 都市イノベーション研究院 准教授 博士(工学) (正会員)

表-1 JIS A 6204 による評価試験結果

項目		規格値	通常の AE 減水剤	改良型 AE 減水剤
減水率(%)		10 以上	15	15
ブリーディング量の比(%)		70 以下	33	50
凝結時間の差(min)	始発	-60~+90	+45	+30
	終結	-60~+90	+40	+40
圧縮強度比(%)	材齢 7 日	110 以上	128	120
	材齢 28 日	110 以上	117	116
長さ変化比(%)		120 以下	92	92
凍結融解に対する抵抗性(相対動弾性係数 %)		60 以上	94	95
塩化物イオン量(kg/m ³)		0.02 以下	0.00	0.00
全アルカリ量(kg/m ³)		0.30 以下	0.02	0.02

減水剤に適合する。JIS A 6204 による評価試験結果を表-1 に示す。表に示すように、JIS A 6204 の全ての項目において規格値を満足しており、通常の AE 減水剤ともほとんど差が無い結果となった。改良型 AE 減水剤は、AE 減水剤（標準形）の区分として使用できるため、通常の AE 減水剤を改良型 AE 減水剤に変更することに制約は無く、さらに特別な設備も必要ないことから、簡易かつ安価にブリーディングを抑制できる手法となる。

ここでは、実際にブリーディングの抑制程度を把握するために、室内にて通常の AE 減水剤を用いたコンクリートと、改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートにより基礎物性確認試験を行った。

2.1 改良型 AE 減水剤の基礎物性確認試験

(1) 使用材料およびコンクリート配合

使用材料を表-2 に、コンクリート配合を表-3 に示す。表に示すように、通常の AE 減水剤を用いたコンクリートと同じスランブおよび空気量となるように、改良型 AE 減水剤の添加量のみを調節した。

(2) 基礎物性確認試験の項目および結果

基礎物性確認試験の項目を表-4 に、結果を表-5 に示す。改良型 AE 減水剤の添加量を通常の AE 減水剤の 1.5 倍とすることで、両者のコンクリートのスランブ、空気量は同じとなった。凝結時間は、通常の AE 減水剤を用いた場合、始発が 5 時間 55 分、終結が 7 時間 35 分であるのに対し、改良型 AE 減水剤を用いた場合、始発が 5 時間 25 分、終結が 7 時間 15 分となり、硬化が若干早い程度であり、凝結特性は通常の AE 減水剤とほぼ同等である。

ブリーディング量の測定結果を図-1 に示す。ブリーディングの発生速度は通常の AE 減水剤を用いた場合と、改良型 AE 減水剤を用いた場合で同等であったが、改良型 AE 減水剤を用いた場合の方がブリーディングの発生が収束する時間が早くなる結果となった。最終的なブリーディング量は、通常の AE 減水剤を用いた場合、0.15cm³/cm²であるのに対し、改良型 AE 減水剤を用いた場合、0.09cm³/cm²となり、今回の条件においてはブリーディング量は 40%低減できる結果となった。

表-2 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm ³
細骨材	S	山砂、密度：2.59g/cm ³ 、粗粒率：2.71
粗骨材	G	碎石、密度：2.65g/cm ³ 、吸水率：0.48%、Gmax：20mm
AE 減水剤	AD1	通常の AE 減水剤 標準形 (リグニンスルホン酸塩 およびオキシカルボン酸塩)
	AD2	改良型 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系化合物 界面活性剤系特殊増粘剤)

表-3 コンクリート配合

W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					
			W	C	S	G	AD1	AD2
55	15	4.5	165	300	803	1020	3.00	—
							—	4.50

表-4 基礎物性確認試験の項目

項目	方法	摘要
スランブ	JIS A 1101	練上がり直後
空気量	JIS A 1128	
コンクリート温度	JIS A 1156	
外気温	温度計による	
ブリーディング量	JIS A 1123	
凝結時間	JIS A 1147	
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 7, 28 日

表-5 基礎物性確認試験の結果

項目	通常の AE 減水剤	改良型 AE 減水剤
スランブ	14.0cm	14.0cm
空気量	4.5%	4.5%
コンクリート温度	22.0°C	22.0°C
外気温	20.0°C	20.0°C
凝結時間	始発 5:55	始発 5:25
	終結 7:35	終結 7:15

圧縮強度試験の結果を図-2 に示す。なお、圧縮強度は供試体 3 本の平均値を示しており、3 本でばらつきはほとんどなかった。圧縮強度は、材齢 7 日で約 3%、材齢 28 日で約 6%、圧縮強度が低下する結果となった。定常的に強度が低下傾向にあるかについては、今後データを蓄積する必要があると考える。

3. 普通コンクリートを用いたスラブ部への適用

スラブ部には W/C が 50% 程度、スランブが 8.0cm の普通コンクリートが用いられており、ここでは普通コンクリートに対して改良型 AE 減水剤を用いたブリーディング抑制手法を適用し、製造、運搬、打込み、締固めなどの施工性とブリーディングの抑制効果を評価した。

3.1 適用した構造物の形状

構造物の形状を図-3に示す。図に示すように、幅 6.6m、長さ 31.5m、高さ 0.7m のスラブ部材であり、一方に通常の AE 減水剤を用いた普通コンクリート、もう一方に改良型 AE 減水剤を用いた普通コンクリートを打ち込んだ。

3.2 使用材料および配合

使用材料を表-6に、コンクリート配合を表-7に示す。AE 減水剤の種類および添加量を変更し、その他の単位量は両配合で同じとした。

3.3 適用結果

コンクリートは、市中のレディミクストコンクリート工場で製造した。練混ぜの際にミキサの負荷値を測定した結果、通常の AE 減水剤と改良型 AE 減水剤における負荷値はほぼ同等であり、改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートは通常の AE 減水剤を用いたコンクリートと同様の製造方法で問題ないことが分かった。

フレッシュ性状の試験は表-4と同様とした。スランブ試験の結果を図-4に示す。スランブ試験は練上がり直後、荷卸し時、ポンプ圧送後に実施し、練上がりから荷卸しまでの運搬時間は約 50 分、荷卸し後、直ちにポンプ圧送を開始した。外気温は 21~23℃、コンクリート温度は 24~26℃であった。図に示すように、練上がりから荷卸しまでのスランブの低下は、通常の AE 減水剤を用いた場合で 1.0cm であったのに対し、改良型 AE 減水剤を用いた場合では低下しなかった。これは、通常の AE 減水剤に比べ、改良型 AE 減水剤は増粘成分が混合されているのに加え、添加量が多く、分散性能の高いポリカルボン酸系化合物を用いているためであると考えられる。荷卸しから圧送後のスランブ低下は通常の AE 減水剤、改良型 AE 減水剤ともに同等となった。

今回は 4 段屈折ブームの最大理論吐出量 107m³/h、配管径 125A のポンプ車を用いて、1 層を約 35cm とし、2 層で打ち込んだ。水平換算距離としては約 134m であった。吐出量は 55~75m³/h の範囲で変動させ、その際のポンプ主油圧を測定した。なお、ここでの吐出量は、ポンプ車のシリンダー容積とピストン回数から算出したものである。吐出量とポンプ主油圧の関係を図-5に示す。図に示すように、通常の AE 減水剤を用いた場合は、吐出量が増加してもポンプ主油圧はほぼ一定だったのに対し、改良型 AE 減水剤を用いた場合は、吐出量の増加に伴いポンプ主油圧が若干高くなることが確認された。今

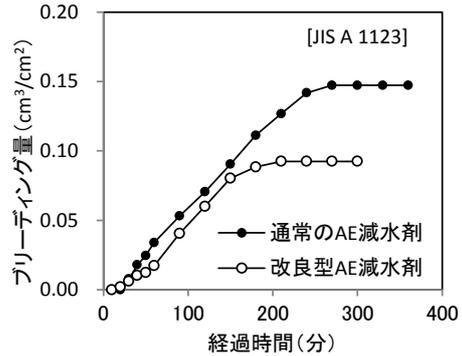


図-1 ブリーディング量の測定結果

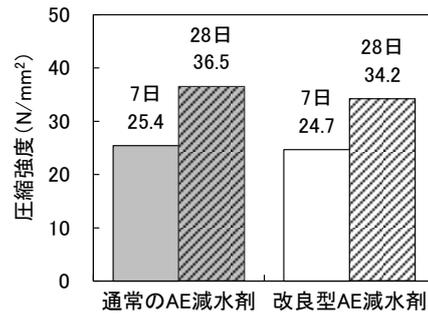


図-2 圧縮強度試験の結果

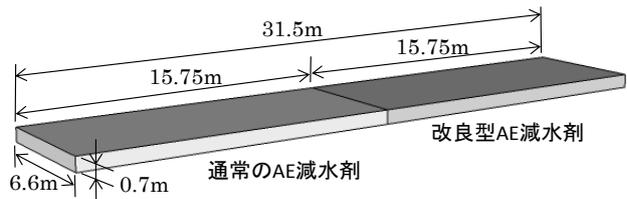


図-3 構造物の形状

表-6 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	地下水
セメント	C	高炉セメント B 種, 密度: 3.04g/cm ³
細骨材	S1	砕砂, 密度: 2.77g/cm ³ , 粗粒率: 3.10
	S2	海砂, 密度: 2.58g/cm ³ , 粗粒率: 2.50
粗骨材	G	碎石, 密度: 2.77g/cm ³ , Gmax: 20mm
AE 減水剤	AD1	通常の AE 減水剤 標準形 (リグニンスルホン酸塩 ポリカルボン酸系化合物)
	AD2	改良型 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系化合物 界面活性剤系特殊増粘剤)

表-7 コンクリート配合

呼び強度 (N/mm ²)	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	S1	S2	G	AD1	AD2
27	52.5	8.0	4.5	166	316	334	619	911	3.16	—
									—	5.38

回、両配合ともに打込みおよび締固めの方法を同様とした結果、打込み速度などに大きな差異は生じず、改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートは通常の AE 減水剤を用いたコンクリートと同様の施工が可能であることが分

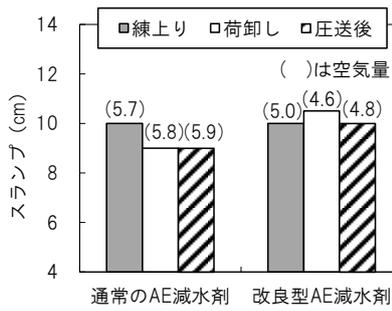


図-4 スランプ試験の結果

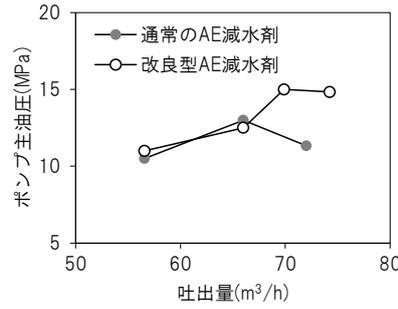


図-5 吐出量とポンプ主油圧の関係

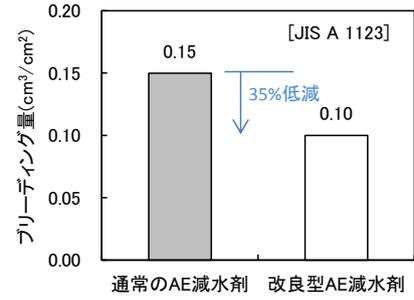


図-6 ブリーディング量の測定結果

かった。

ブリーディング量の測定結果を図-6に示す。ブリーディング試験用の試料はレディーミクストコンクリート工場で採取し、実現象に近い環境状態とするためにプラントの屋外で実施した。室内試験と同様に、今回の条件においては改良型 AE 減水剤により約 35%低減できる結果となった。実構造物のブリーディングの発生状況を写真-2に示す。写真は打込み終了から 2 時間後の状態であり、通常の AE 減水剤を用いたコンクリートでは改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートよりも多くブリーディング水が発生することが確認された。そこで、キッチンペーパーを用いた方法¹⁾を参考にして、実構造物のブリーディング量を定量的に測定した。打込み後木ごてで粗仕上げを行い、その 1 時間後にキッチンペーパー 9 枚 (1 枚あたり 228×222mm) を天端に載せ、3 分後の重量変化分をブリーディング量とした。ブリーディング量の測定結果を図-7に示す。図に示すように、今回の条件では改良型 AE 減水剤を用いることで、通常の AE 減水剤を用いた場合の約 80%低減する結果となった。



写真-2 ブリーディング発生状況

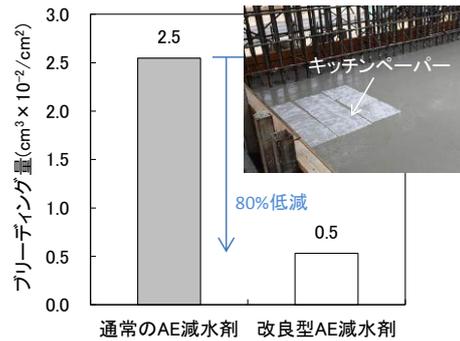


図-7 ブリーディング量の測定結果

側面の脱型後のコンクリートの表面状況を写真-3に示す。通常の AE 減水剤を用いたコンクリートで若干の表面気泡が発生したのに対して、改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートでは表面に気泡がなく、非常にきれいな表面に仕上がっていることが確認できた。材齢 56 日で側面のコンクリートの表面気泡面積率を測定した。通常の AE 減水剤を用いたコンクリートと改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートの側面では、均一に表面気泡が分布していたことから、代表として、各側面のコンクリートの中心部分で測定した。測定箇所を図-8に示す。表面気泡面積率は、20cm×15cm の領域内に存在する直径 2mm 以上の気泡の面積の割合とした。測定結果を図-9に示す。図に示すように、表面気泡面積率が大幅に低減していることが確認された。



写真-3 コンクリートの表面状況

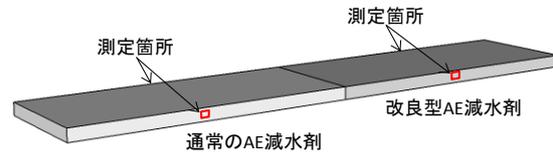


図-8 表面気泡面積率の測定箇所

さらにコンクリートの表層品質を定量的に評価するために、材齢 56 日において表面の透気係数²⁾を測定した。測定結果を図-10に示す。通常の AE 減水剤を用いたコンクリートの透気係数は $0.013 \times 10^{-16} \text{m}^2$ で、判定は「良」

であったのに対して、改良型 AE 減水剤を用いた場合は $0.0087 \times 10^{-16} \text{m}^2$ で、判定は「優」であり、ブリーディングが抑制されたことによって、コンクリート表面が緻密になり、表層品質が向上したものと考えられる。

圧縮強度試験の結果を図-11に示す。なお、圧縮強度用の供試体はコンクリート打込み時に採取し、翌日脱型

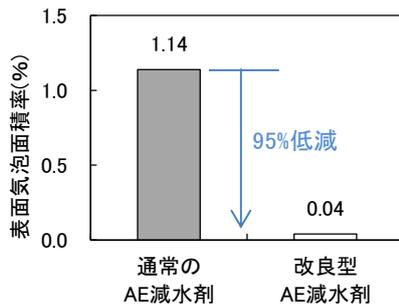


図-9 表面気泡面積率の測定結果

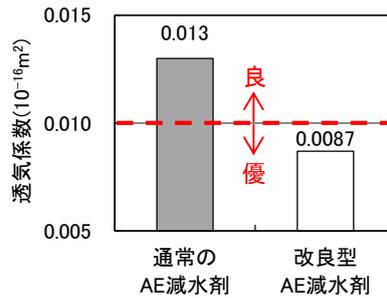


図-10 透気係数の測定結果

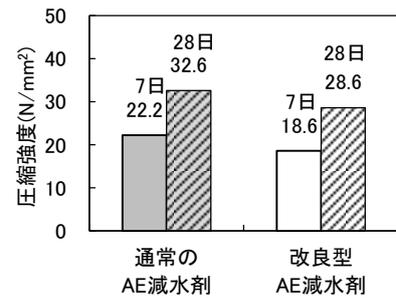


図-11 圧縮強度試験の結果

して所定の材齢まで 20℃水中にて養生した。圧縮強度は供試体 3 本の平均値を示しており、供試体 3 本において圧縮強度のばらつきはほとんどなかった。図に示すように、通常の AE 減水剤を用いたコンクリートは材齢 28 日で 32.6N/mm²であるのに対し、改良型 AE 減水剤を用いたコンクリートは 28.6N/mm²であり、室内試験と同様に圧縮強度が低くなることが確認された。強度が低下する理由は現在のところ明らかとなっていないが、今後はサンプル数を増やすことにより、定常的に強度が低下するのか否かについて把握する予定である。

改良型 AE 減水剤を使用することで、普通コンクリートにおいてブリーディングが大幅に低減することが確認された。また、改良型 AE 減水剤の特性上、コンクリートには若干の粘性が付与されるが、製造における練混ぜ時間やフレッシュ性状に及ぼす影響はほとんどないことが確認された。また、コンクリートの表面気泡がほとんどなくなり、さらには透気係数も低下していることから、ブリーディングが抑制されたことで、コンクリートの表層品質が向上したと考えられる。

4. ダムコンクリートを用いたフーチング部への適用

ダムコンクリートに対して改良型 AE 減水剤を用いたブリーディング抑制手法を適用し、製造、運搬、打込み、締固めなどに及ぼす影響とブリーディングの抑制効果を評価した。

4.1 適用した構造物の形状

構造物の形状を図-12 に示す。図に示すように、幅 3.2m、長さ 4.0m、高さ 1.5m のフーチング部であり、中心部分で目地を設置して分割し、一方に通常の AE 減水剤（遅延タイプ）を用いたダムコンクリート、一方に改良型 AE 減水剤を用いたダムコンクリートを打ち込んだ。

4.2 使用材料および配合

使用材料を表-8 に、配合を表-9 に示す。両配合の単位量は全て同じとし、AE 減水剤のみを変更した。

4.3 適用結果

ダムコンクリートの製造は、現場のバッチャープラントで行った。前述した普通コンクリートへの適用時と同

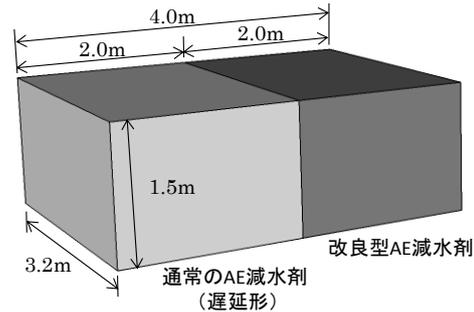


図-12 構造物の形状

表-8 使用材料

材料名	記号	摘要
水	W	水道水および地下水
セメント	MF30	中庸熟フライアッシュセメント、密度：2.85g/cm ³
細骨材	S	砕砂、表乾密度 2.62g/cm ³ 、F.M：2.72
粗骨材	G1	碎石、表乾密度：2.69g/cm ³ 、実積率：60.0%、G _{max} ：80mm
	G2	碎石、表乾密度：2.72g/cm ³ 、実積率：60.8%、G _{max} ：40mm
	G3	碎石、表乾密度：2.81g/cm ³ 、実積率：60.3%、G _{max} ：20mm
混和剤	AD1	通常型 AE 減水剤 遅延形 (リグニンスルホン酸化合物)
	AD2	改良型 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系化合物 界面活性剤系特殊増粘剤)

表-9 配合

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)							
			W	MF30	S	G1	G2	G3	AD1	AD2
47.4	6.0	3.5	128	270	583	475	466	482	0.68	—
									—	4.05

表-10 フレッシュ性状確認試験の結果

試験項目	通常型AE減水剤 (遅延形)	改良型AE減水剤
スランプ	6.5cm	6.5cm
空気量	3.7%	4.0%
コンクリート温度	13.0℃	14.0℃
外気温	11.0℃	11.0℃

様、改良型 AE 減水剤を用いたダムコンクリートは通常のダムコンクリートと同様の製造方法で製造可能であった。

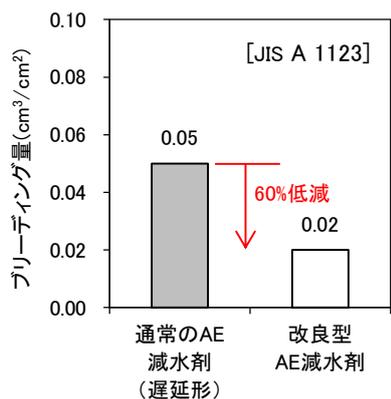


図-13 ブリーディング試験の結果

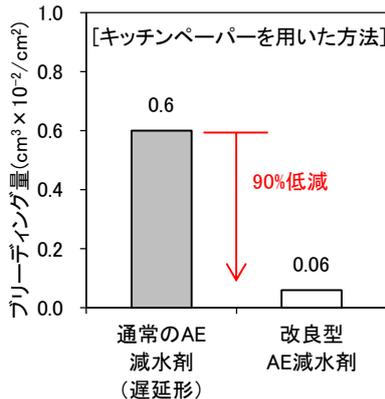


図-14 ブリーディング試験の結果

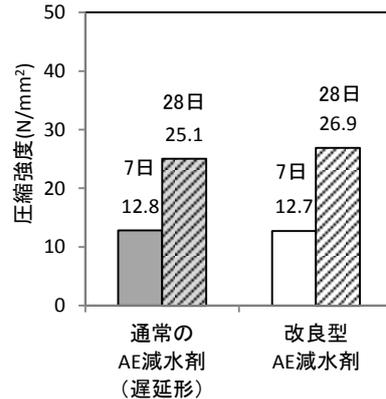


図-15 圧縮強度試験の結果

フレッシュ性状確認試験の項目は表-4と同様とした。フレッシュ性状確認試験の結果を表-10に示す。スランブ試験、空気量、ブリーディング試験はウェットスクリーニングにより粗骨材 G8040 を除いて行った。なお、今回の施工では、練上がりから荷卸しまでの運搬時間は約5分であったため、スランブは練上がりのみ測定することとした。表に示すように、ダムコンクリートにおいても、通常の AE 減水剤 (遅延形) を用いた配合と改良型 AE 減水剤を用いた配合で、同等のフレッシュ性状を確保できることが確認された。

コンクリートは1層あたり約30cmとし、5層で打ち込んだ。打込みにはコンクリートバケットを使用し、打込み速度は約10m³/hとした。締固めにはφ100mmのハンドバイブレーターを使用した。施工中の状況については、ハンドバイブレーターの引抜後に穴が残るような状況は確認されず、改良型 AE 減水剤が打込みや振動締固めに対して影響を及ぼさないことが分かった。

ブリーディング量の測定結果を図-13に示す。ブリーディング試験用の試料は現場のバッチャープラントで採取し、試験は屋外で実施した。図に示すように、今回の条件では改良型 AE 減水剤によりブリーディング量が約60%低減できることが確認された。実構造物のブリーディング量の測定は、普通コンクリートと同様に、キッチンペーパーを用いた方法¹⁾によりブリーディング量を測定した。測定結果を図-14に示す。図に示すように、今回の条件では改良型 AE 減水剤を用いることによりブリーディング量が90%低減できることが確認された。

圧縮強度試験の結果を図-15に示す。なお、圧縮強度は供試体3本の平均値を示しており、3本でばらつきはほとんどなかった。図に示すように、通常の AE 減水剤を用いたダムコンクリートの圧縮強度は材齢28日で25.1N/mm²であるのに対し、改良型 AE 減水剤を用いたダムコンクリートの圧縮強度は26.9N/mm²であり、改良型 AE 減水剤が圧縮強度に及ぼす影響はほとんど無いことが確認された。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 改良型 AE 減水剤を用いることによりブリーディングを抑制する工法を、実構造物のコンクリートに適用した。
- (2) 実構造物の普通コンクリートおよびダムコンクリートに適用したが、施工性に及ぼす影響はほとんど無いことが分かった。
- (3) いずれのコンクリートにおいて、ブリーディングが大幅に抑制される結果となった。
- (4) 普通コンクリートにおいては、改良型 AE 減水剤の使用により、コンクリート表面の気泡面積率が大幅に減少した。さらに透気係数が低下し、ブリーディングが抑制されたことで、コンクリートの表層品質が向上する結果が得られた。

謝辞：今回の改良型 AE 減水剤の開発および実構造物への適用に際しまして、フローリック株式会社森本孝敏氏に多大なご協力を頂きました。ここに紙面を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 皆口正一, 丸山久一, 稲葉美穂子, 坂田昇: 高流動コンクリートの材料分離測定方法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.1, pp.87-92, 1996.7
- 2) R.J.Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Material and Structures, Vol.25, No.6, pp.358-365, Jul.1992