

セメントモルタルおよびコンクリートのブリージング水の挙動に関する速度論的解析

沢 出 稔
(技術研究所)
池 谷 純 一
(技術研究所)

§ 1. はじめに

本報は、ポリマーエマルジョン散布による若材令コンクリート打継ぎの一環として、モルタルおよびコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析結果について取りまとめたものである。

セメントモルタルおよびコンクリートの打込み直後から、その表面には練り混ぜ時の余剰水(ブリージング水)が湧出す。これまで、このブリージング水湧出しのメカニズムについて幾つかの報告¹⁾²⁾がなされているものの、そのほとんどがブリージング水の発生はセメント、骨材および練り混ぜ水の比重差に起因するものとの考察にとどまり、わずかに Powers³⁾がセメントおよび骨材の粒径、比表面積、比重などを因子としてブリージング水湧出しに関する速度論的解析を試みている。しかし、その解析法は煩雑であるとともに、セメントおよび骨材粒子の沈降に起因するブリージング水の湧出初期の挙動しか説明できない。そこで、本報では多孔体中を流体が移動するモデル(Darcy則)を用いて、セメントモルタルおよびコンクリートのブリージング挙動を速度論的に解析し、ブリージング水の湧出しから引込みに至る挙動は、練り混ぜ水添加後の経過時間の関数として直線近似できることを明らかにしている。

また、ポリマーエマルジョンを散布したセメントモルタルおよびコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析結果についても、併せて報告する。

§ 2. 試験方法

2.1 使用材料

2.1.1 セメントおよび骨材

セメントには、普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材として、モルタルには JIS R 5201(セメントの物理試験方法)に規定する豊浦標準砂を、コンクリートに

は鬼怒川産川砂を用いた。また、コンクリート用粗骨材には鬼怒川産川砂利を用いた。表-1および表-2に使用材料の性質を示す。

2.1.2 ポリマーエマルジョン

ポリマーエマルジョンには、市販品のアクリル酸エステル(PAE)1種、スチレン・ブタジエンゴム(SBR)1種およびエチレン酢酸ビニル(EVA)1種の計3種類を用いた。なお、PAEについては3種の、SBRについては2種の市販品と成分が等しく、平均粒径の異なるポリマーエマルジョンも同時に試験に供した。表-3にポリマーエマルジョンの性質を示す。

2.1.3 四塩化炭素および灯油

ブリージング水湧出量測定には、ブリージング水より

比 重	比表面積 (cm ² /g)	凝 結 (h-min)		安 定 性		
		始 発	終 結			
3.16	3190	2-34	3-52	良		
圧縮強さ (kgf/cm ²)			化学成分 (%)			
3日	7日	28日	ig. loss	MgO	SO ₃	Cl ₂
139	239	416	0.7	1.4	2.0	0.006

表-1 セメントの性質

骨材の 種 類	最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	単位容積重 (kg/ℓ)
細骨材	5	2.59	2.14	1.65
粗骨材	25	2.61	1.45	1.72

表-2 コンクリートに用いた骨材の性質

ポリマーエマル ジョンの種類	平均粒径 (μm)	比 重 (20℃)	pH (20℃)	粘 度 (20℃, cP)	全固形分 (%)
PAE-1	0.106	1.054	9.6	1420	46.9
PAE-2	0.137	1.056	9.3	340	50.1
PAE-3	0.289	1.052	9.6	75	44.6
PAE-4	0.723	1.054	9.4	1740	44.5
SBR-1	0.117	1.058	9.0	255	50.5
SBR-2	0.225	1.057	8.8	163	47.8
SBR-3	0.252	1.062	11.0	334	69.2
EVA	0.329	1.060	4.9	750	43.6

表-3 ポリマーエマルジョンの性質

比重の大きい JIS K 8459 (四塩化炭素) に規定する四塩化炭素を、ブリージング水引込量測定には、ブリージング水より比重の小さい JIS K 2203 (灯油) に規定する灯油を用いた。

2.2 モルタルおよびコンクリートの調製

モルタルはセメント：豊浦標準砂 = 1：2 (重量比)、水セメント比 65% の調合とし、JIS R 5201 に準じて調製した。また、コンクリートは表-4 に示す調合とし、JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に準じて調製した。

2.3 ブリージング水量の測定

図-1 に示す装置を用い、恒温恒温室 (20±3°C, 55±10% R. H.) 内にて、次の手順によりモルタルおよびコンクリートのブリージング水湧出量および引込量を測定した。

(1) ブリージング水湧出量の測定

試料容器中へ 2.0 l のモルタルまたはコンクリートを 3 層に分けて詰め、各層 25 回ずつ突き棒で突いた後、表面を平滑にし、その後ブリージング水量測定装置を組み立てて、四塩化炭素をビュレットの任意目盛りまで注入した。注入後、1 分ごとに四塩化炭素上面へ湧出したブリージング水量を 0.05cm³ の精度で測定した。

(2) ブリージング水引込量の測定

(1) と同様に、試料容器中に 2.0 l のモルタルまたはコンクリートを詰めた後、ブリージング水量測定装置を組み立てて、灯油をビュレットの任意目盛りまで注入して静置した。その後、(1) の測定でブリージング水湧出しが緩慢になった時点より 10 分ごとに、灯油上面の沈下量 (ブリージング水引込量) を 0.05cm³ の精度で測定した。

なお、ポリマーエマルジョンを散布する供試体表面には、ブリージング水量測定装置を組み立てる前に、P/W (ポリマーエマルジョン中の全水量に対するポリマー固形分の重量比) 30% に調製したポリマーエマルジョンを散布量 0.03g/cm² 散布した。

2.4 ブリージング率

モルタルおよびコンクリートのブリージング率は、JIS A 1123 (コンクリートのブリージング試験方法) に準じた式(1)より算出した。

$$Br = \frac{BW}{\omega S} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

ここに、Br：ブリージング率
B：ブリージング水量

スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)
20	4.0	63	25	47.7
単位水量 (kg/m ³)		重量 (kg/m ³)		
		セメント	細骨材	粗骨材
		300	860	950
				化学混和剤の使用量 (g/m ³)
				750

表-4 コンクリートの調合

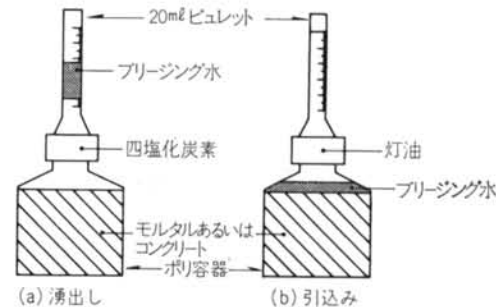


図-1 ブリージング水量測定装置

W：試料 1 m³ 当たりの重量
ω：試料 1 m³ 当たりの水量
S：試料重量

§ 3. 解析方法

Powers³⁾ は、各種調合のコンクリートにおけるブリージング水湧出量の経時変化について検討し、打込み初期のコンクリート表面の沈降速度は式(2)より求められることを示している。

$$\frac{Q}{Q_p} = (P/V)^2 \cdot (1+M) \cdot \frac{(\rho_s - \rho_f)}{(\rho_s^0 - \rho_f)} \cdot \frac{1}{[1+M(\sigma_{ab}/\sigma_c)]} \quad \dots\dots(2)$$

ここに、Q：コンクリート表面の初期沈降速度
Q_p：コンクリート中のセメントペースト分単体の初期沈降速度
P/V：コンクリート中のセメントペーストの容積
M：コンクリート中の固体の容積
ρ_s：コンクリート中の固体の平均密度
ρ_f：水の密度
ρ_s⁰：水中でのセメントの見掛け密度
σ_{ab}：骨材の比表面積
σ_c：セメントの比表面積

しかし、本式によってはブリージング水の湧出しから引込みまでの挙動のごく一部しか説明することができ

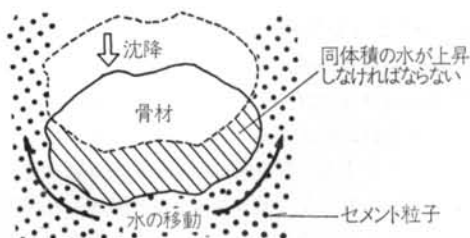


図-2 骨材の沈降による水の移動

ず、かつ煩雑であることが指摘される。

水より比重の大きい固体を水中に入れると、固体は自由落下し、沈積する。しかし、モルタルやコンクリートのよう、水と固体が極めて密に混合された系における固体の沈降と水の移動については、他の観点からの考察が必要と考える。例えば、図-2に示すようにモルタルやコンクリート中で、骨材が破線の位置から実線の位置まで沈下したとき、余剰水は各粒子の間げきを移動することになり、単なる沈降のみの形はとりえない。また、モルタルやコンクリートにおいて、固体粒子の沈降速度よりも水の上昇速度は数倍大きく、ブリージングは浸透流としての性格が強いとの指摘もある⁹⁾。すなわち、モルタルおよびコンクリート中での各粒子の沈降に伴う水の移動は、いわゆる毛細管中の水の移動の様を呈するものとする。そこで、本報ではモルタルおよびコンクリートのブリージング挙動を、以下に述べる多孔体中を液体が移動する場合のモデル³⁾を用いて解析することとした。

多孔体の中を流体が移動する現象は、大別すると次の3つに分類される。

- 1) 表面張力による流れ
- 2) 濃度勾配による流れ
- 3) 圧力勾配による流れ

ここで、前述したモルタルおよびコンクリートのブリージング挙動、すなわち骨材やセメント粒子の沈降に伴う練り混ぜ水の浮き上がりは、1)の表面張力による流れによるものとする。ここで、表面張力により多孔体中の毛細管を流体が移動する現象は、Darcy 則を用いると式(3)のように示すことができる。

$$L = \sqrt{2K_0 \frac{\sigma \cos \alpha}{d_p} \cdot \frac{k}{\mu s} t} \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 L : 液体の浸入長

K_0 : キャピラリー定数

σ : 表面張力

α : 液体と管の接触角

d_p : 粒子の直径

k : 粒子層の浸透係数

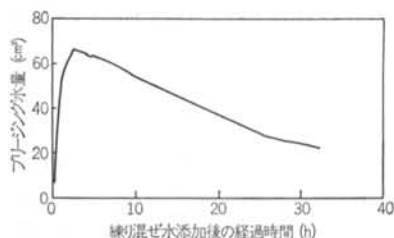


図-3 モルタルのブリージング水量の経時変化

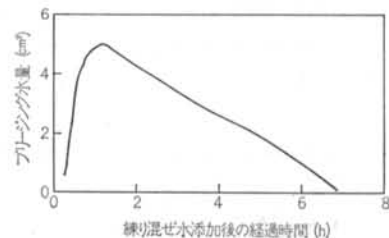


図-4 コンクリートのブリージング水量の経時変化

- μ : 液体の粘度
- s : 空げき率
- t : 時間

このように、粒子層に対する液体の浸入長 L と時間 t との間には $(L^2/t = \text{一定})$ なる関係がある。本報では、上述の浸入長 L をブリージング水の湧出高さ (湧出量) および引込みによる落下高さ (引込量)、 t をモルタルおよびコンクリート練り混ぜ時の加水後の経過時間として L^2 と $1/t$ の関係について解析を行なう。

§ 4. 試験結果

4.1 無処理モルタルのブリージング挙動

図-3には、モルタルのブリージング水湧出総量および引込総量の経時変化を示す。モルタル打込み後約1時間まで、モルタル表面へ $1.27 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ の速度でブリージング水が湧出し、その湧出量は最大湧出量の80%以上に達する。その後、ブリージング水の湧出速度は $2.05 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ まで減少し、モルタル打込み後約2時間30分で最大湧出量を与える。一方、ブリージング湧出量が最大に達した時点から約25時間までの間、湧出時に比べかなり遅い速度 (ブリージング水引込速度 $\approx 3.61 \times 10^{-6} \text{cm/s}$) で、ブリージング水はモルタル表面より引込まれる。

4.2 無処理コンクリートのブリージング挙動

図-4には、コンクリートのブリージング水湧出総量および引込総量の経時変化を示す。コンクリートのブリー

ージング水湧出量は、コンクリート打込み後約1時間で最大に達する。このコンクリート表面へのブリージング水の湧出速度は $1.05 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ であり、モルタルの初期ブリージング水湧出速度の約1/10である。これは、モルタルではセメントおよび骨材粒子が小さいため、各粒子の沈降により生ずる水の上昇がほぼ直線的に行なわれるのに対し、コンクリートでは粒子径の大きい砂や砂利に沿って曲線的に移動することに起因するものと考えられる。一方、コンクリート表面からのブリージング水の平均引込速度は $1.94 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ であり、モルタルのその約1/2の値である。

4.3 ポリマーエマルションを散布したモルタルのブリージング挙動

4.3.1 ポリマーエマルションの種類の影響

図-5には、種類の異なる市販のポリマーエマルション(PAE, SBR, EVA)を $P/W=30\%$ に調製し、モルタル打込み直後に各々モルタル表面へ散布量 0.03g/cm^2 散布した場合のモルタルのブリージング水量の経時変化を示す。図-5によれば、無処理モルタルのブリージング水湧出速度 ($1.27 \times 10^{-4} \text{cm/s}$) に比べ、PAE エマルションを散布したモルタルでは $7.68 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ と若干遅く、SBR および EVA エマルションを散布したものでは少し速い (3.35×10^{-4} , $2.86 \times 10^{-4} \text{cm/s}$) 傾向のあることが分かる。一方、ブリージング水引込速度は、いずれのポリマーエマルションを散布したモルタルもほぼ等しい $2.26 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 程度の値を示している。また、無処理モルタルおよび PAE, SBR および EVA エマルションを散布したモルタルのブリージング率は、各々 9.37%, 7.76%, 7.88%, 8.81% であり、ポリマーエマルション散布はモルタルのブリージング率を減少させることが分かる。これは、散布したポリマーエマルションがモルタル表面を覆い、湧出してくるブリージング水を封じたためであると考えられる。

4.3.2 ポリマーエマルションの粒径の影響

図-6には、組成が等しく平均粒径の異なる4種類のPAEエマルションを $P/W=30\%$ に調製し、モルタル打込み直後に各々モルタル表面へ散布量 0.03g/cm^2 散布した場合のモルタルのブリージング水量の経時変化を示す。図-6によれば、モルタルのブリージング水湧出速度(ブリージング水量-経過時間曲線の勾配)にはそれぞれ違いが認められるが、モルタル表面へ散布したPAEエマルションの平均粒径の大小とはなんら相関関係がないように見うけられる。

図-7には、組成が等しく平均粒径の異なる3種類の

SBRエマルションを $P/W=30\%$ に調製し、モルタル打込み直後に各々モルタル表面へ散布量 0.03g/cm^2 散布した場合のモルタルのブリージング水量の経時変化を示す。図-7によれば、モルタルのブリージング水湧出速度(ブリージング水量-経過時間曲線の勾配)にはそれぞれ違いが認められるが、モルタル表面へ散布したSBRエマルションの平均粒径の大小とはなんら相関関係がないように見うけられる。一方、引込速度はいずれの場合もほぼ等しい値を示している。

図-8には、モルタル表面へ散布したポリマーエマル

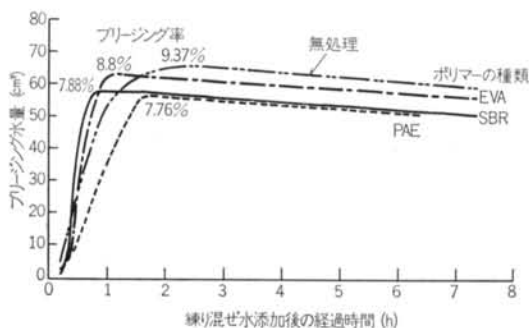


図-5 各種ポリマーエマルションを散布したモルタルのブリージング水量の経時変化

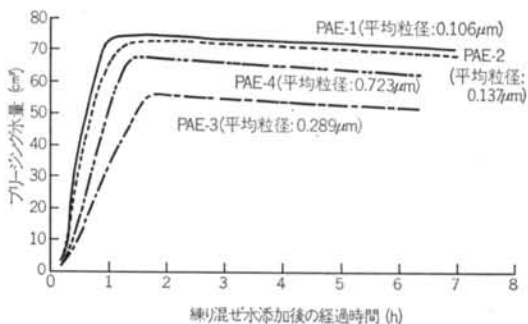


図-6 粒径の異なるPAEエマルションを散布したモルタルのブリージング水量の経時変化

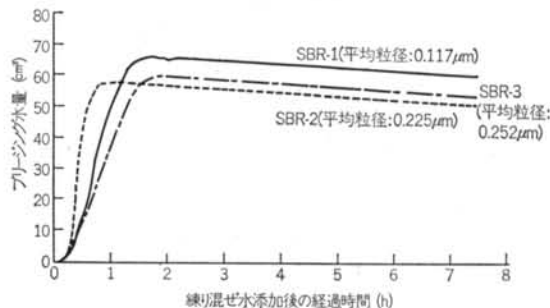


図-7 粒径の異なるSBRエマルションを散布したモルタルのブリージング水量の経時変化

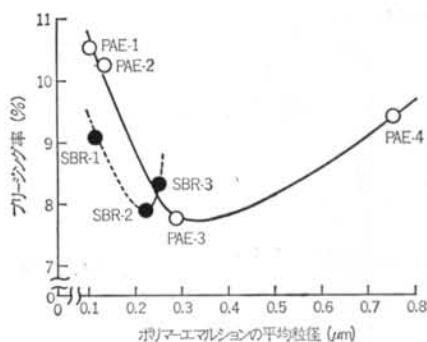


図-8 各種ポリマーエマルジョンを散布したモルタルのフリージング率

ション(PAE, SBR)の平均粒径と、そのモルタルのフリージング率の関係を示す。図-8によれば、モルタル表面へ散布するポリマーエマルジョンの平均粒径が0.3 μ m付近にフリージング率の最低値があり、これより粒径が大きくなっても、小さくなくても各々フリージング率は増加していく傾向のあることが分かる。この結果から、モルタルのフリージング率はモルタル表面へ散布するポリマーエマルジョンの平均粒径と、フリージング挙動測定中のモルタル表面の細孔径分布に影響されているものと考えられる。

4.4 ポリマーエマルジョンを散布したコンクリートのフリージング挙動

4.4.1 ポリマーエマルジョンの種類の影響

図-9には、種類の異なる市販のポリマーエマルジョン(PAE, SBR, EVA)をP/W=30%に調製し、コンクリート打込み直後に各々コンクリート表面へ散布量0.03g/cm²散布した場合のコンクリートのフリージング水量の経時変化を示す。図-9によれば、フリージング水湧出速度は無処理コンクリートでは 1.05×10^{-5} cm/sを示しているが、SBR, PAEおよびEVAエマルジョンを散布したコンクリートでは、各々これより大きい 1.85×10^{-5} , 2.87×10^{-5} および 7.24×10^{-5} cm/sの値を示している。一方、フリージング水引込速度は、いずれのコンクリートについてもほぼ等しい 1.73×10^{-6} cm/s程度の値を示している。ここで、ポリマーエマルジョンを散布したモルタルおよびコンクリートのフリージング水湧出速度をそれぞれ比較してみると、PAEエマルジョンを散布したもものではコンクリートの湧出速度はモルタルの1/3程度であり、SBRエマルジョンを散布したもものでは1/20程度、EVAエマルジョンを散布したもものでは1/4程度の値しか示していない。また、コンクリートの引込速度はモルタルの0.8倍程度と、その差は湧出速度に比べ極

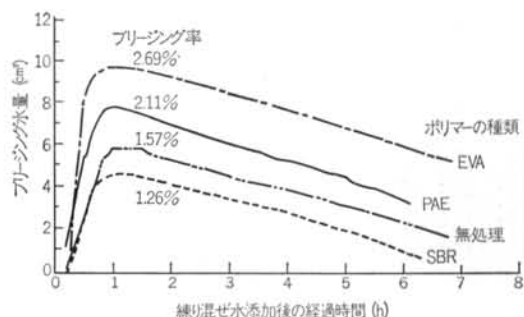


図-9 各種ポリマーエマルジョンを散布したコンクリートのフリージング水量の経時変化

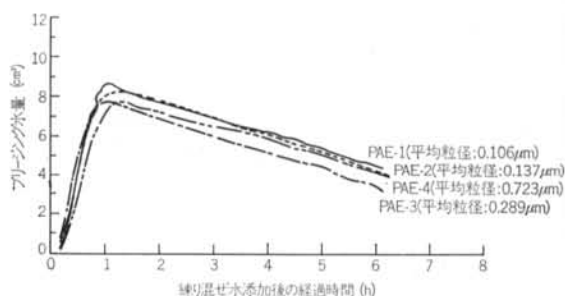


図-10 粒径の異なるPAEエマルジョンを散布したコンクリートのフリージング水量の経時変化

めて小さく、ポリマーエマルジョン散布はモルタルおよびコンクリートのフリージング水の湧出速度に大きく影響することが分かる。

一方、各コンクリートのフリージング率は、EVAエマルジョンを散布したコンクリートでは2.67%、PAEエマルジョンを散布したコンクリートでは2.11%、無処理コンクリートでは1.57%、SBRエマルジョンを散布したコンクリートでは1.26%と、EVA>PAE>無処理>SBRの順となっている。ここで、SBRエマルジョンを散布したコンクリートのフリージング率が無処理コンクリートより低いのは、散布したポリマーエマルジョンがモルタル表面を覆い、湧出してくるフリージング水を封止したためであると思われる。しかし、無処理コンクリートより高いフリージング率を示すEVAおよびPAEエマルジョンを散布したコンクリートについては、その理由が判然としない。

4.4.2 ポリマーエマルジョンの粒径の影響

図-10には、組成が等しく平均粒径の異なる4種類のPAEエマルジョンをP/W=30%に調製し、コンクリート打込み直後に各々コンクリート表面へ散布量0.03g/cm²散布した場合のフリージング水量の経時変化を示す。図-10によれば、コンクリートのフリージング水湧出速度

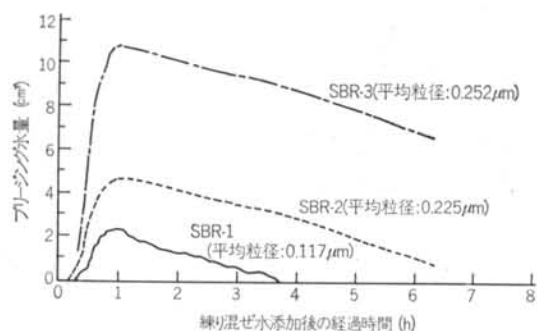


図-11 粒径の異なるSBR エマルジョンを散布したコンクリートのフリーズン水量の経時変化

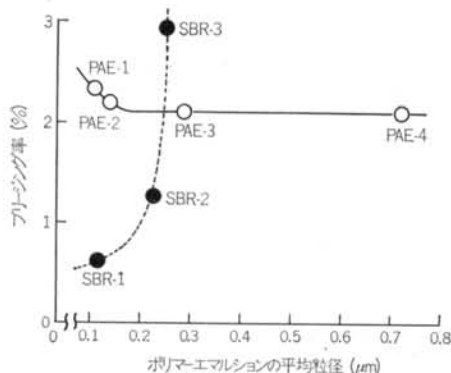


図-12 各種ポリマーエマルジョンを散布したコンクリートのフリーズン率

および引込速度は、いずれも散布したポリマーエマルジョンの平均粒径に関係なくほぼ等しい値を示していることが分かる。

図-11には、組成が等しく平均粒径の異なる3種類のSBR エマルジョンを $P/W=30\%$ に調製し、コンクリート打込み直後に各々コンクリート表面へ散布量 $0.03\text{g}/\text{cm}^2$ 散布した場合のフリーズン水量の経時変化を示す。図-11によれば、コンクリートのフリーズン水湧出速度は、コンクリート表面へ散布したポリマーエマルジョンの平均粒径が大きくなるほど大きくなるのに対し、引込速度はいずれの粒径においてもほぼ等しい値を示している。

図-12には、コンクリート表面へ散布したポリマーエマルジョン (PAE, SBR) の平均粒径と、そのコンクリートのフリーズン率の関係を示す。図-12によれば、PAE エマルジョンを散布したコンクリートのフリーズン率は、ポリマーエマルジョンの平均粒径に関係なくほぼ等しい値を示している。一方、SBR エマルジョンを散布したコンクリートのフリーズン率は、ポリマーエマルジョンの平均粒径が大きくなるほど大きい値を示す。

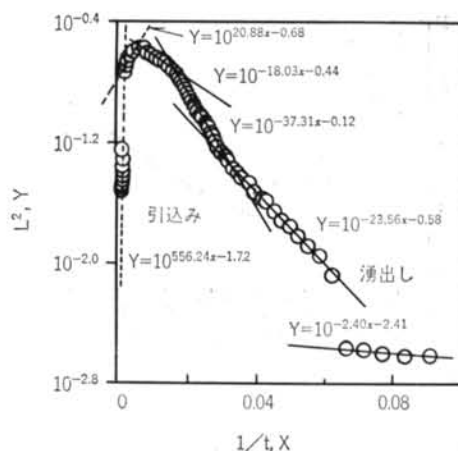


図-13 モルタルのフリーズン挙動の速度論的解析
している。この両者の性質の違いについては、本試験の範囲からはなんら要因が判然としない。しかし、モルタルの場合との違いについては、おそらくモルタルおよびコンクリート表面の細孔径分布の差に起因するものと思われる。

§ 5. 考察

5.1 無処理モルタルのフリーズン挙動の速度論的解析

図-13には、供試モルタルのフリーズン挙動を式(3)を用いて整理した結果を示す。図-13に示すように、加水後の時間経過に伴うモルタルのフリーズン水湧出量の変化は勾配の異なる4本の直線で、また最大湧出後からの引込量の変化は2本の直線で近似できる。ここで、フリーズン水湧出現象を表す4種類の L^2-1/t 関係式のうち、経過時間初期に得られる3つの関係式はそれぞれ、固体粒子の自由沈降による水の上昇、局所的な流出孔からの水の上昇および毛細管力による水の流れを表すものと考えられる。一方、残り1つの関係式は、セメントペーストの硬化初期を示すものと推察される。しかし、いずれの場合も多孔体中水が移動するモデルを用いて解析できることが明らかである。

5.2 無処理コンクリートのフリーズン挙動の速度論的解析

図-14には、供試コンクリートのフリーズン挙動を式(3)を用いて整理した結果を示す。モルタルにおけるフリーズン挙動と同様に、コンクリートのフリーズン水湧出現象および引込現象は、それぞれ3本および2本

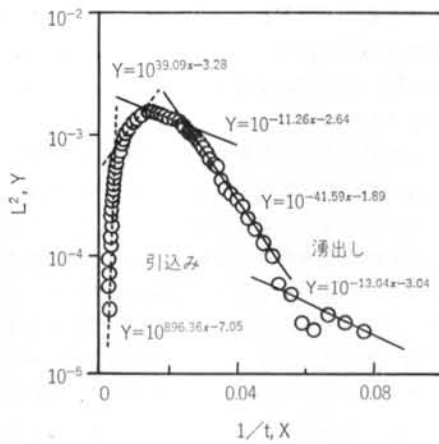


図-14 コンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

の L^2-1/t 関係式で近似することができる。ここで、コンクリートのブリージング水湧出挙動を示す3つの直線はそれぞれ、局所的な流出孔からの水の上昇、毛細管力による水の流れおよびセメントペーストの硬化初期に対応するものと推察される。一方、打込み直後のコンクリートの湧出水の挙動を表わす最右端の直線の速度勾配 (x の係数) は -13.0 であり、モルタルで得られた値 (-2.4) に比べかなり大きい。これは、コンクリート打込み直後における各粒子の自由沈降がモルタルのそれより遅く進行することを示すものであり、これには骨材の大きさおよび容積率が大きく影響しているものと考えられる。

ここで、Powers の行なったコンクリートのブリージング挙動に関する試験結果を、式(3)により解析した結果

を図-15に示す。図-15によれば、いずれの調合のコンクリートについても、そのブリージング挙動を2種類の L^2-1/t 関係式に整理できることが分かる。ここで、図-15中の矢印 (\leftarrow) は Powers が式(2)で近似したブリージング湧出水の初期沈降速度を示す直線の最終値を示すものである。これより、コンクリート中の各粒子の自由沈降部分は、式(3)では勾配の緩い1本の直線に近似されていることが分かる。また、式(2)で近似できる最終値以降の部分は、勾配の大きい1つの L^2-1/t 関係式に対応している。一方、図-15には著者らの行なったコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析結果(図-14)における第3の直線 ($1/t=0.02$ 付近よりブリージング水湧出ピークに至るまでの部分) が認められない。これは、本報における試験の精度が Powers のものより10倍高く、かつブリージング水湧出しの終局部分における測定を1分間隔で行なっているのに対し、Powers は20分程度の間隔で行なっていることによるものと考えられる。

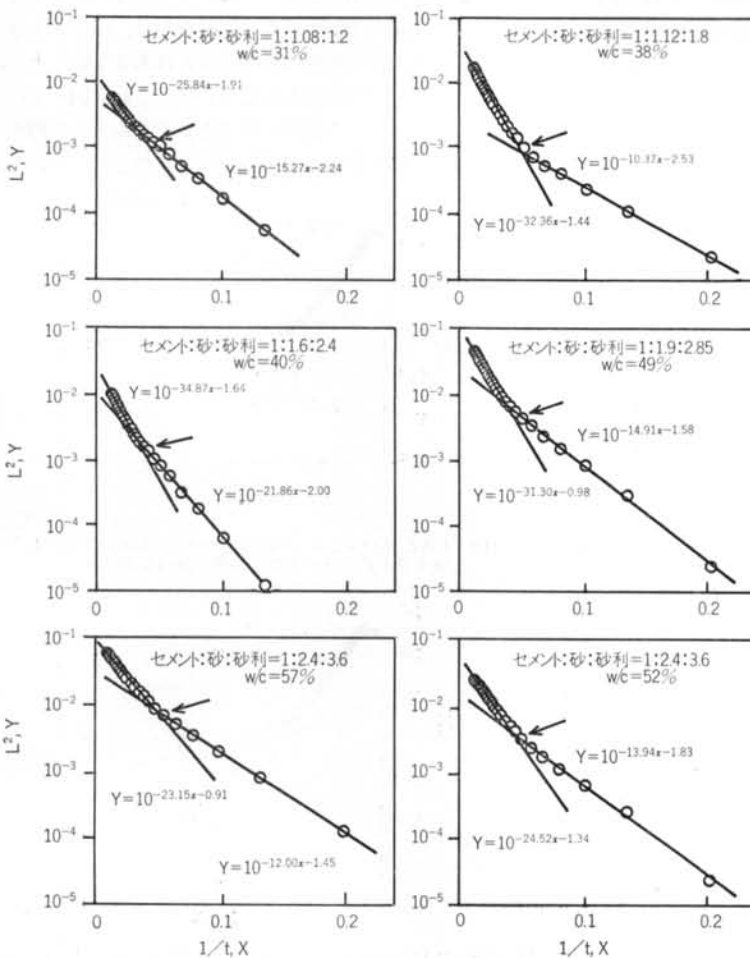


図-15 Powers のブリージング・データの速度論的解析

5.3 ポリマーエマルジョンを散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

図-16～図-19には、組成が等しく平均粒径の異なる4種類のPAEエマルジョンを散布したモルタルのブリージング挙動を、式(3)によりそれぞれ解析した結果を示す。図-16～図-19によれば、いずれもブリージング水湧出挙動は3本、引込挙動は1本の直線に近似できることが分かる。一方、図-13によれば無処理モルタルのブリージング水の湧出挙動は4本、引込挙動は2本とポリマーエマルジョン散布によるモルタルより多い直線で近似されている。ポリマーエマルジョン散布によるモルタルの速度論的解析結果には、無処理モルタルでセメントの硬化反応によるものと推察される湧出挙動の最後の直線がない。これは、ポリマーエマルジョンのセメントの硬化を遅延させる効果⁹⁾に起因するものと思われる。また、引込挙動については、無処理モルタルでは練り混ぜ後30時間までブリージング水量の変化を測定したのに対し、ポリマーエマルジョンを散布したモルタルでは8時間程度までしか測定しなかったため、2本目の直線が得られなかったものと思われる。一方、ブリージング水の湧出しおよび引込みを示す直線の速度勾配(α の係数)

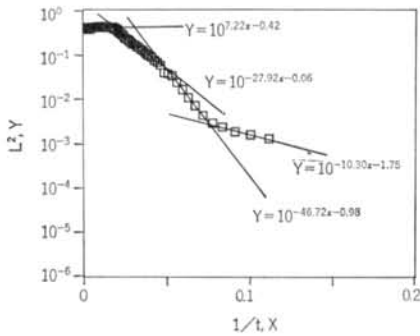


図-16 PAE エマルジョン (平均粒径0.106 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

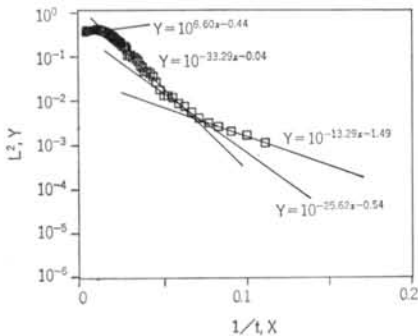


図-17 PAE エマルジョン (平均粒径0.137 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

は、モルタル表面へ散布したポリマーエマルジョンの平均粒径とならば相関関係がないように見受けられる。

図-20～図-22には、組成が等しく平均粒径の異なる3種類のSBRエマルジョンを散布したモルタルのブリージング挙動を、式(3)によりそれぞれ解析した結果を示す。図-20～図-22によれば、モルタル表面へ散布したポリマーエマルジョンの粒径の違いにより、ブリージング水の湧出挙動に大きな差異のあることが認められる。しかし、ブリージング水の湧出速度勾配とポリマーエマルジョンの平均粒径との間にはならば相関関係が認められない。図-20では、ブリージング水湧出初期に一部ブリージング水発生が停止している箇所がある。これは、モルタル表面に存在しているポリマーエマルジョンが、モルタル内部からその表面へ湧出してきたブリージング水の上昇を阻害したことによるものと考えられる。一方ブリージング水の引込挙動は、モルタル表面へ散布したポリマーエマルジョンの粒径の影響を受け、粒径が大きいほどその引込速度勾配(α の係数)は大きな値をとり、引込速度が速くなる傾向を示している。これは図-7の結果からははっきりと判別することができなかった微小な差であり、本解析法の有効性を示す好例となっている。

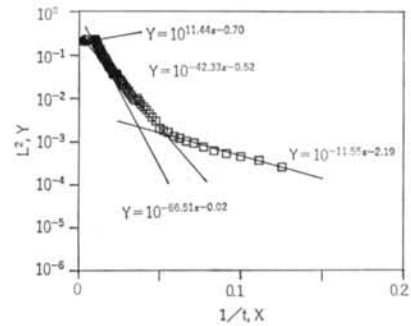


図-18 PAE エマルジョン (平均粒径0.289 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

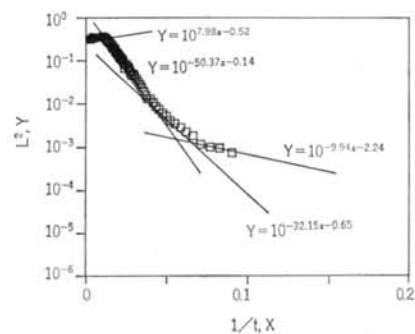


図-19 PAE エマルジョン (平均粒径0.723 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

5.4 ポリマーエマルションを散布したコンクリートの ブリージング挙動の速度論的解析

図-23～図-26には、組成が等しく平均粒径の異なる4種類のPAEエマルションを散布したコンクリートのブリージング挙動を、式(3)によりそれぞれ解析した結果を示す。図-23～図-26によれば、いずれも無処理コンクリートのブリージング水湧出挙動の最後にみられる勾配が明確には現われていない。そのため、図-24以外の

グラフのブリージング水湧出挙動は、無処理コンクリートより1本少ない2本の直線で近似されている。一方、ブリージング水引込挙動は、いずれも無処理コンクリートと同様に2本の直線で近似できることが分かる。しかし、ブリージング水の湧出および引込挙動を示す各直線の速度勾配は、いずれもコンクリート表面へ散布したポリマーエマルションの平均粒径となんら相関関係がないように見うけられる。

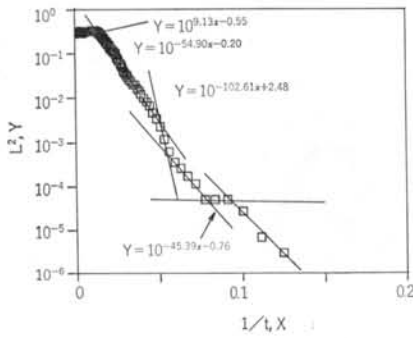


図-20 SBR エマルション (平均粒径0.117 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

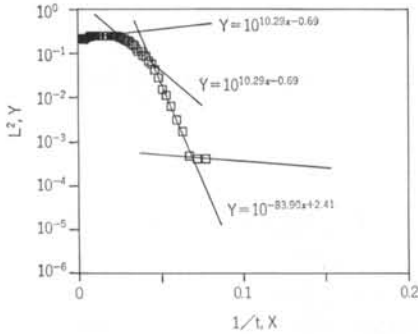


図-21 SBR エマルション (平均粒径0.225 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

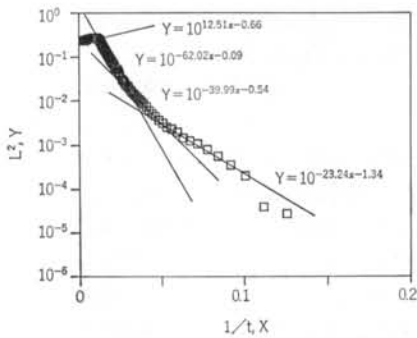


図-22 SBR エマルション (平均粒径0.252 μm) を散布したモルタルのブリージング挙動の速度論的解析

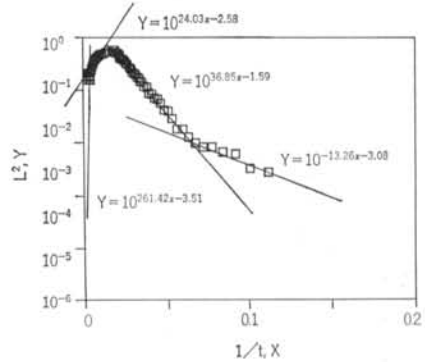


図-23 PAE エマルション (平均粒径0.106 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

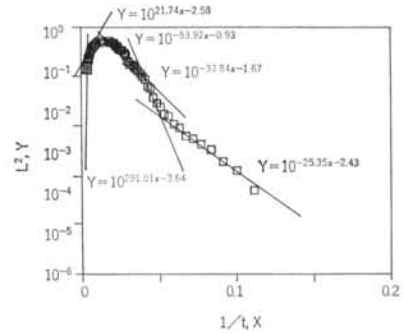


図-24 PAE エマルション (平均粒径0.137 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

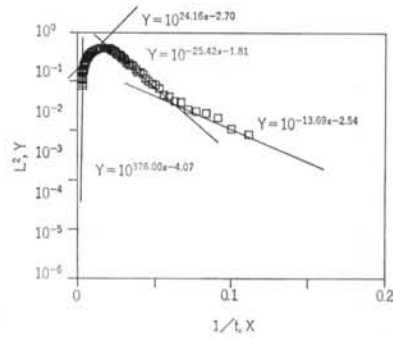


図-25 PAE エマルション (平均粒径0.289 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

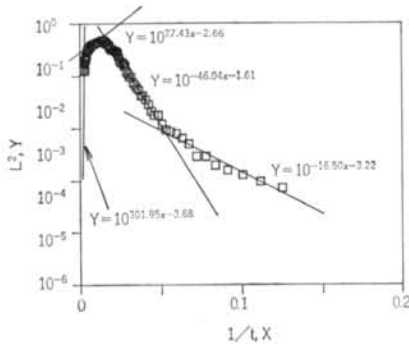


図-26 PAE エマルジョン (平均粒径0.723 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

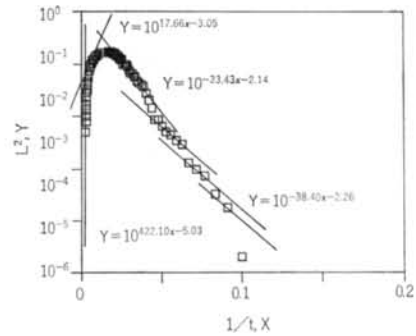


図-28 SBR エマルジョン (平均粒径0.225 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

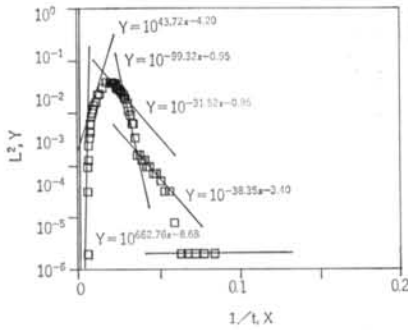


図-27 SBR エマルジョン (平均粒径0.117 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

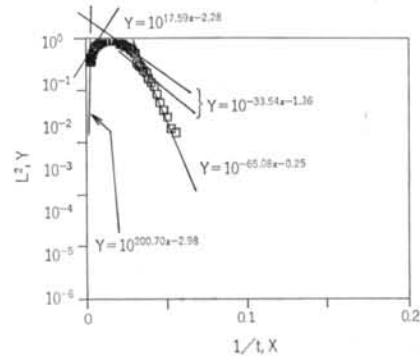


図-29 SBR エマルジョン (平均粒径0.252 μm) を散布したコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析

図-27～図-29には、組成が等しく平均粒径の異なる3種類のSBRエマルジョンを散布したコンクリートのブリージング挙動を、式(3)により解析した結果を示す。

図-27～図-29によれば、図-29ではブリージング湧出初期の測定が行なえず、他のグラフで見られる最右端の直線は得られていないが、それぞれブリージング水の湧出しは3本の直線で、引込みは2本の直線で近似できることが分かる。なお、図-28および図-29のブリージング水湧出しにおいて、コンクリート表面へ散布したポリマーエマルジョンの影響と思われる測定値の急激な上昇が認められるが、このシフト前後のグラフの傾きが等しいので、それぞれ1つの湧出挙動として解析を行なっている。図-27～図-29においても、ブリージング水の湧出速度勾配とコンクリート表面へ散布したポリマーエマルジョンの平均粒径との間に明確な相関関係は見いだせない。しかし、ブリージング水の引込速度勾配は、散布したポリマーエマルジョンの平均粒径が大きいほど小さい値を示し、ブリージング水の引込みが遅くなる傾向を示している。

§ 6. おわりに

本論文は、現在まで比重差による粒子の単純な自由沈降と考えられていたモルタルおよびコンクリートのブリージング挙動を速度論的に解析し、ブリージング挙動が見掛け上数種の過程に分類できることを示したものである。また、ポリマーエマルジョンを散布したセメントモルタルおよびコンクリートのブリージング挙動の速度論的解析結果も併せて取りまとめている。本報で得られた結果を、以下に要約して示す。

(1)ポリマーエマルジョン散布の有無にかかわらず、モルタルおよびコンクリートのブリージング挙動は見掛け上数種の過程に分類でき、ブリージング水量と練り混ぜ水添加後の経過時間の関係は、各過程ともDarcy則を用いて得られる式(3)によって直線近似できる。

(2)Darcy則を適用することにより、ブリージング水の湧出挙動は無処理モルタルでは4本、無処理コンクリートでは3本の直線(L^2-1/l)関係に整理できる。これより、ブリージング水の湧出挙動は見掛け上モルタルでは4段階、コンクリートでは3段階に分類できるものと推

察される。

(3)ブリージング水の引込挙動は、無処理モルタルおよびコンクリートとも2段階に分類できるものと考えられる。しかし、ブリージング水の引込挙動についてはその要因が判然とせず、今後の興味ある課題である。

(4)Darcy 則を適用することにより、PAE および SBR エマルジョンを散布したモルタルのブリージング水湧出および引込挙動は、それぞれ3本および1本の直線関係に整理できる。

(5)Darcy 則を適用することにより、PAE および SBR エマルジョンを散布したコンクリートのブリージング水湧出挙動は2および3本、引込挙動は2本の直線関係に

整理できる。

(6)PAE エマルジョンを散布したモルタルおよびコンクリートのブリージング水の速度勾配と、散布したポリマーエマルジョンの平均粒径との間にはなんら相関関係は見いだせない。

(7)SBR エマルジョンを散布したモルタルおよびコンクリートのブリージング水の湧出速度勾配は、散布したポリマーエマルジョンの平均粒径となんら相関関係は認められないが、その引込速度勾配はモルタルでは粒径が大きいほど大きい値を、コンクリートでは粒径が大きいほど小さい値を示す。

<参考文献>

- 1) 辻正哲：“ブリージング水の発生機構とその処理方法に関する研究” セメント・コンクリート No. 475 (1985年) pp.25~30
- 2) 吉浦豊太郎，多田直吉：“セメントモルタルのブリージング” セメント技術年報 IX (1955年) pp.161~167
- 3) T.C.Powers：“The Properties of Fresh Concrete” Wiley (1968) pp.533~603
- 4) 岩崎訓明：“コンクリートの特性” 共立出版 (1975年) p.40
- 5) 近藤連一：“多孔材料” 技報堂出版 (1973年) pp.117~118
- 6) 波木守，大濱嘉彦：“プラスチックコンクリート” 高分子刊行会 (1965年) p.144

