

論文 高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工性に関する研究

泉 達男^{*1}・下田政朗^{*2}・小島俊治^{*2}・正中雅文^{*3}

要旨：高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの施工性は、コンクリートの粘性との密接な関連がある。本研究では特にモルタルの粘性に着目し、その低減化について検討した。

その結果、モルタルの粘性はモルタル中の自由水量との関連性が有ることがわかった。即ち、セメント粒子の分散性を高め、粒子間に収蔵されている水を開放することで自由水量が増え、粘性は低下する。コンクリートの粘性低減には、セメントに対する吸着特性の優れた減水剤を用いることが効果的である。

キーワード：高性能 AE 減水剤、コンクリート、粘性、自由水、吸着特性

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性改善を目的とした高性能 AE 減水剤の普及率は増加傾向にある。高性能 AE 減水剤の開発はコンクリートの品質向上、特に乾燥収縮や強度等の硬化物性面での改善効果への貢献は大きい¹⁾。

一方、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートは普通コンクリートに比べて減水率が大きいこともあり、製造・施工性等のフレッシュコンクリートの性状面での課題を抱えている。スランプロスの問題は、徐放性分散剤等の保持剤の開発²⁾によって解消されてきた。しかし、減水率が高くなると普通コンクリートに比べて粘性が高くなり、作業性・充填性の低下などの課題を抱えている。

本研究はモルタルの粘性の支配因子を探求することを目的に減水剤の分子構造面からモルタルの粘性低減化の可能性について検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合条件

実験に使用した材料はプレーンコンクリートでスランプ 18cm を出すために必要な単位水量が、205kg/m³になる様に調整したものをを用いた。

表-1 コンクリート配合(プレーン)

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Air (%)
		W	C	S1	S2	G	
64.1	50.0	205	320	441	431	917	2.0

<使用材料>

セメント(C):普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³)

細骨材(S1):君津産山砂(密度2.60g/cm³, FM2.69)

細骨材(S2):瀬戸内産砕砂(密度2.56g/cm³, FM2.80)

粗骨材(G):鳥形山産石灰碎石(密度2.72g/cm³, FM6.73)

表-2 モルタル配合

配合 No.	W/C (%)	S/ペースト比	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S1	S2
①	64.1	1.66	205	320	441	431
②	64.1	1.86	185	289	445	438
③	64.1	1.96	180	281	457	447
④	64.1	2.21	168	262	481	470
⑤	50.0	1.76	168	336	447	440
⑥	45.0	1.58	168	373	432	425
⑦	40.0	1.39	168	420	412	406
⑧	40.0	1.14	175	438	396	390
⑨	40.0	1.01	185	463	373	367
⑩	40.0	0.90	205	513	326	321
⑪	35.0	1.19	168	480	387	381

* 1 花王(株) 化学品研究所 グループリーダー 工修(正会員)

* 2 花王(株) 化学品研究所 研究員

* 3 花王(株) 化学品研究所 主任研究員 工修

本研究ではモルタル配合と負荷抵抗の関連性を調べることで、モルタル中の自由水量やペースト量がモルタルの粘性に及ぼす影響について検討した。モルタルの配合はコンクリート配合中の粗骨材のみを除いたものとした。モルタル配合を表-2に示す。

2.2 実験方法

(1)コンクリート試験

ミキサは、容量40リットルの傾胴ミキサを用い、練り混ぜ量は、30リットルとした。コンクリートは、粗骨材、細骨材、セメントおよび水を投入し180秒間練り混ぜた。コンクリートの練り上がり温度と実験室内の温度は、 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ に保った。練り上がり後、土木学会規準に準じたスランプ試験、空気量試験(JIS A 1128に準拠)を行った。また、モルタル物性は、コンクリートからウェットスクリーニングした試料を用いて測定した。

(2)モルタル試験

1000mlのステンレスビーカーにセメント、細骨材、水(減水剤を含む)を入れ、所要の回転数で3分間練り混ぜた。モルタルの流動性条件は、スランプ18cmのブレンコンクリートを調製し、ウェットスクリーニングして得られたモルタルの流動性を測定した結果から $200 \pm 10\text{mm}$ に設定した。流動性の指標は、ミニコーン(スランプコーンの約1/2寸法、高さ15cm、上底5cm、下底10cm)にモルタルを詰め、コーンを引き上げた後のモルタルの広がり(静置フロー値)を用いた。

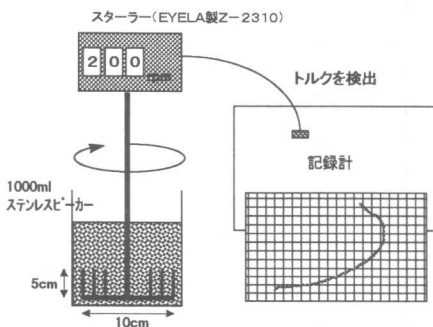


図-1 モルタルミキサ

モルタルの粘性の指標として、所定の流動性におけるミキサの攪拌羽にかかる負荷抵抗を用いた。ミキサの概略を図-1に示す。

(3)自由水量の測定

所要の条件で練り混ぜたモルタル1000gを3000rpm、5分で遠心分離を行った。モルタル中の微粒分を強制沈降させて得られた上澄水を自由水量と定義した。

(4)減水剤吸着量の測定

自由水量の測定と同様に1000gのモルタルを遠心分離(3000rpm、5分)して得られた上澄水中の全炭素量を全有機炭素測定装置(島津製作所製TOC-5050A)で測定した。減水剤の吸着量は減水剤添加量から上澄水中の炭素量を差し引き、モルタル1gに対する見掛けの吸着量を算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 作業性に及ぼすモルタル特性の影響

コンクリートの作業性を支配する因子としては、流動性や粘性が挙げられる。コンクリートの粘性にはペースト(モルタル)の粘性だけでなく、砂利・砂などの骨材粒子どうしの衝突や摩擦の応力伝達の違いも反映されている。骨材粒子間の応力伝達機構は、骨材間に存在するペースト(モルタル)の違いによって骨材摩擦に起因する摩擦機構と流体としてのペーストの粘着機構の複合効果として説明される³⁾。

そこで、モルタル配合と負荷抵抗との相関性を明らかにし、モルタル中の自由水量やペースト量がモルタルの粘性に及ぼす影響を検討した。モルタルの単位水量および水セメント比を変えた場合の負荷抵抗の測定結果を表-3に示す。単位水量を変化させた場合(配合①~④, ⑦~⑩)水セメント比に関係なく、モルタルの負荷抵抗は単位水量の減少と共に増大した。結果を図-2に示す。特に単位水量が $180\text{kg}/\text{m}^3$ 以下になると顕著な負荷抵抗値の増大傾向を示した。実験は水セメント比一定の条件で行っており、単位水量が変化してもペーストの粘性はいずれも同じである。

表-3 モルタル試験結果

配合 No.	攪拌効率 (rpm × 3min)	MY3000 添加量(%)	負荷抵抗値 (m V)	自由水量 (g/M1000g)	配合 No.	攪拌効率 (rpm × 3min)	減水剤 添加量(%)	負荷抵抗値 (m V)	自由水量 (g/M1000g)	吸着量 (mg/M1g)
①	100	-	90	-	⑪	100 × 1.5min	A:0.82	1130	13.68	0.45
②	100	0.70	120	-	⑪	200 × 1.5min	A:0.97	710	14.17	0.53
③	100	0.90	245	-	⑪	300 × 1.5min	A:1.08	540	15.24	0.59
④	100	1.25	380	-	⑦	100	A:1.15	290	18.16	-
⑤	100	1.10	265	-	⑦	100	B:0.92	330	16.34	-
⑥	100	1.00	285	-	⑦	100	C:0.95	365	13.77	-
⑦	100	1.20	380	19.00	・減水剤A(吸着基含量18.43%, 重量平均分子量42000) ・減水剤B(吸着基含量12.96%, 重量平均分子量40000) ・減水剤C(吸着基含量 9.29%, 重量平均分子量41000) ・M: モルタル					
⑧	100	0.95	305	22.61						
⑨	100	0.80	195	25.14						
⑩	100	0.50	120	32.49						
⑪	100	1.50	430	-						

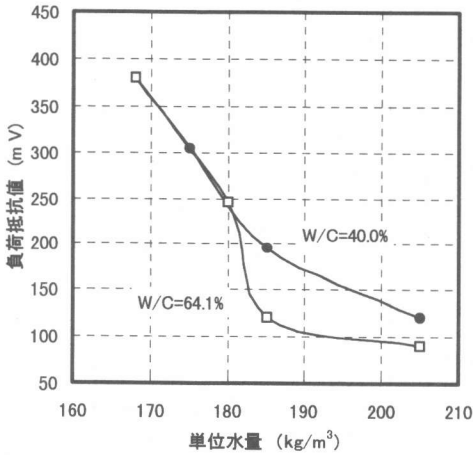


図-2 単位水量と負荷抵抗値

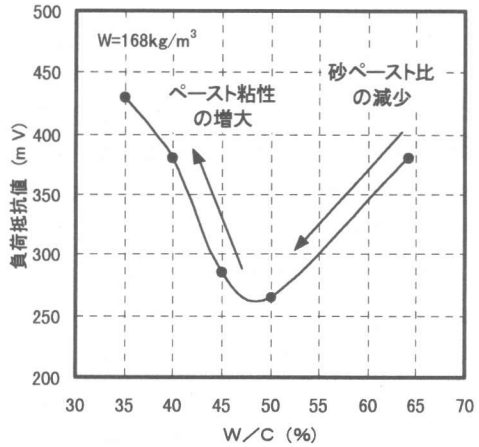


図-3 水セメント比と負荷抵抗値

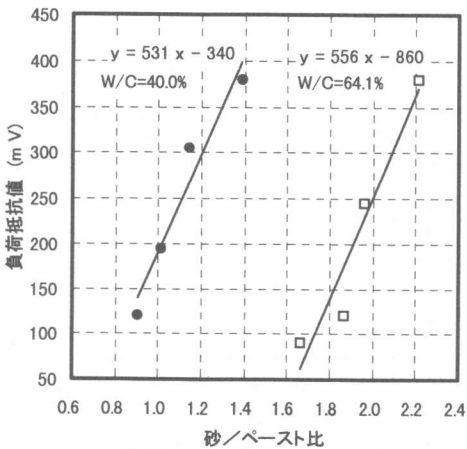


図-4 砂ペースト比と負荷抵抗値

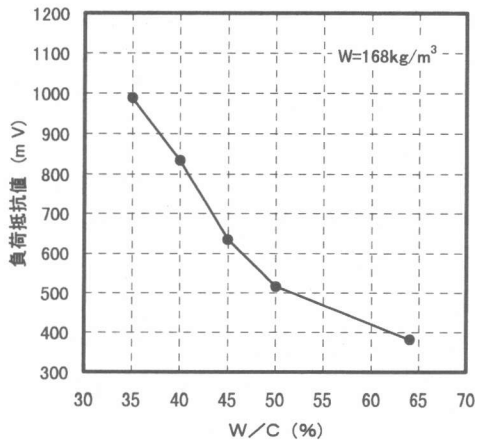


図-5 水セメント比と負荷抵抗値 (S/P補正)

従って、この負荷抵抗の増大は砂ペースト比の増大に起因すると考えられる。即ち、モルタル組成中のペースト量が減少し、砂粒子どうしの衝突や摩擦が増大したために負荷抵抗の増大を招いたと推察される。

単位水量を一定にして水セメント比を変化させた場合（配合④～⑦，⑪）では極小値を有する相関性が認められた（図-3）。全て単位水量一定の条件で行っていることからモルタルの負荷抵抗の変動因子としては、砂ペースト比とペーストの粘性の2つが挙げられる。即ち、水セメント比64%から45%における負荷抵抗の低減は砂ペースト比減少に伴い、砂粒子どうしの衝突や摩擦が低減したことによると考えられる。一方、水セメント比45%から35%における負荷抵抗の増大は、ペーストの粘性増大に起因していると推察される。このようなモルタルの負荷抵抗の変化を応力の伝達機構の観点から考察すると、前者の領域では砂粒子どうしの衝突による摩擦機構が卓越し、後者の領域ではペーストによる粘着機構が支配的であると考えられる。

次に図-3から得られた結果をもとに砂ペースト比の影響を除くことによって負荷抵抗に対するペーストの粘性の寄与率を求めてみた。

砂ペースト比と負荷抵抗の関係を調べた結果（図-4）、水セメント比40.0%、64.1%いずれも直線性の関係にあることがわかった。また、回帰式を求めるとそれぞれ傾きが531、556になっており、この水セメント比の範囲であれば砂ペースト比と負荷抵抗の相関性には大差がないことが分かった。

そこで、砂ペースト比の影響をできるだけ排除するために負荷抵抗値の補正を検討した。補正は水セメント比64.1%（配合④）の負荷抵抗値をベースに各水セメント比における砂ペースト比由来の負抵抗の不足分を加算して算出した。具体的な算出方法は、水セメント比64.1%（配合④）の砂ペースト比（2.21）と各水セメント比における砂ペースト比との差分に図-4中の水セメント

比64.1%のグラフ回帰式の傾き（531）を乗した数値を各負荷抵抗値に加算した。補正した結果（配合④～⑦，⑪のデータ）を図-5に示す。図-5より、水セメント比50%付近を境に負荷抵抗値が急激に大きくなってきていることが認められた。

一般に高性能A E減水剤は単位水量 $185\text{kg}/\text{m}^3$ 以下、水セメント比50%以下で使用されることが多いことから、この場合のコンクリート作業性を改善するには粘性の低下が不可欠であると考えられる。

3.2 モルタル負荷抵抗の支配因子

次にモルタルの負荷抵抗の支配因子について検討を行った。所定量のモルタルを遠心分離させて得られた自由水量と単位水量との関係を図-6に示す。

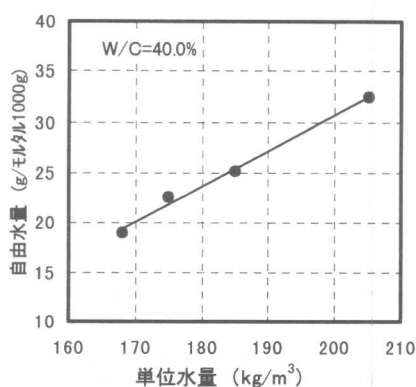


図-6 単位水量と自由水量

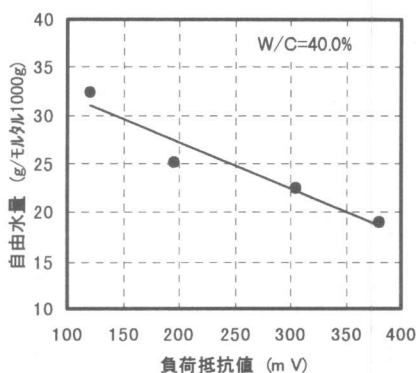


図-7 負荷抵抗値と自由水量

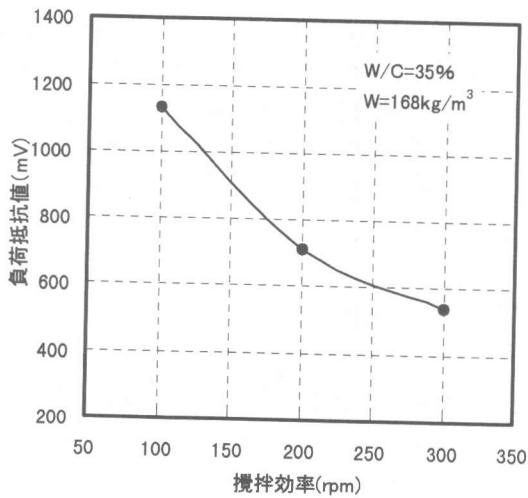


図-8 攪拌効率と負荷抵抗値

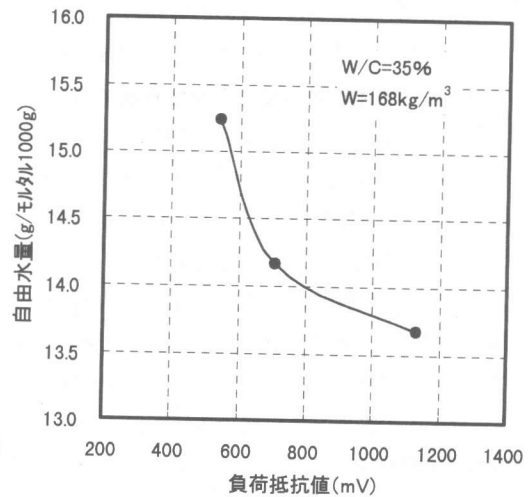


図-9 負荷抵抗値と自由水量

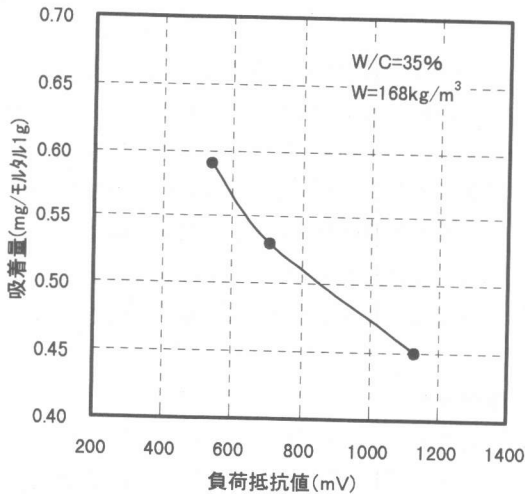


図-10 負荷抵抗値と吸着量

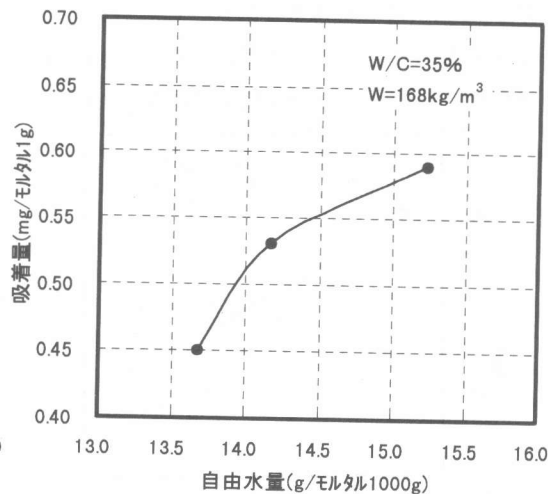


図-11 自由水量と吸着量

図-6より、単位水量の増大と共に自由水量の増加が認められた。更にモルタルの負荷抵抗との相関を調べると(図-7)、負の相関が認められ負荷抵抗の変化にはモルタル中の自由水量が大きく関わっていると推察される。

3.3 自由水量の支配因子

次にモルタル自由水量の支配因子についてモルタル調製時の練り混ぜ条件を変えて検討した。モルタル配合を一定で練り混ぜ時の回転数を変化させて攪拌効率(攪拌時間は同じ)を変えた場合の攪拌効率と負荷抵抗値の関係を図-8に示す。図-8より攪拌効率の向上と共に負荷抵抗の

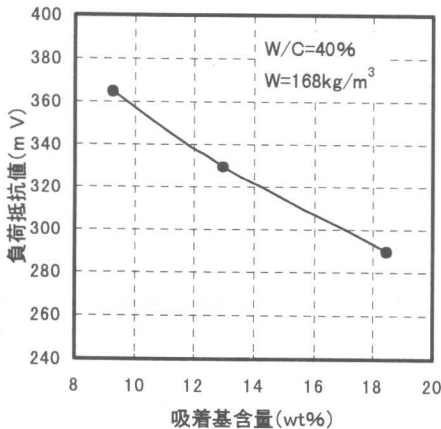
顕著な低下が認められた。また、負荷抵抗値と自由水量の関係を図-9に示す。一般にモルタル中の自由水量の変化は、粒子の分散状態を推定する指標にもなっている⁴⁾。モルタル条件が一定にも関わらず負荷抵抗が大きく変化したのは、攪拌力によってセメント粒子が分散され、セメント粒子間に物理的に収蔵されている水を解放した結果、自由水量が増えたためと考えられる。更にこの時の減水剤の挙動について考えてみた。負荷抵抗と減水剤吸着量の関係を図-10に示す。負荷抵抗の減少と共に吸着量の増大化が認められた。また、図-11より減水剤吸着量と自由水量の相

関性も確認された。これらの結果からもセメント粒子が更に分散されていることが示唆される。

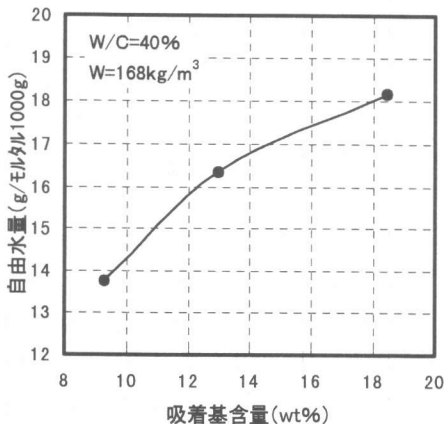
3. 4 化学的方法による自由水量の増大

攪拌力により、セメント粒子が分散され、拘束水を解放することで自由水量が増大することが認められた。現実には攪拌力が一定の条件で、高性能A E減水剤は使用されることが多い。

そこで、減水剤の分子構造の観点から粘性低減化を検討した。ポリカルボン酸系減水剤は、分子中のカルボキシル基によってセメントに吸着する。分子中の吸着基量を変化させた場合の負荷抵抗への影響を図—1 2に示す。図より減水剤構造中の吸着基量と負荷抵抗値に相関が認められた。即ち、減水剤中の吸着基量を多くすることで、攪拌力を増大させた場合と同様、セメント粒子への吸着が促進され、セメント粒子が分散し、拘束さ



図—12 吸着基含量と負荷抵抗値



図—13 吸着基含量と負荷抵抗値

れている水が解放されることで負荷抵抗値が下がったと考えられる。さらに吸着基量と自由水量との関係を図—1 3に示す。

減水剤中の吸着基量の増加と共に自由水量が増えており、この結果からもセメント粒子の分散が更に進んでいることが示唆される。

4. まとめ

- 1) モルタルの負荷抵抗は、ペースト粘性と砂ペースト比に影響を受ける。特に水セメント比50%以下ではペーストの粘性増大によって負荷抵抗が大きくなる傾向にある。
- 2) モルタルの負荷抵抗はモルタルを遠心分離して得られる自由水量と相関があり、粘性が低くなると自由水量が増大する傾向にある。この自由水の増大は、セメント粒子の分散に伴う収束水の開放を意味していると考えられる。
- 3) モルタル負荷抵抗の低減方法としては、練り混ぜ時の攪拌力を増大する方法（物理的方法）と高性能A E減水剤分子中の吸着基量を増大させる方法（化学的方法）が効果的である。

参考文献

- 1) 例えば、飯塚正則，水沼達也：高性能A E減水剤を使用したコンクリートの諸物性，セメント・コンクリート，No.495，pp.8-15，1988.5
- 2) 岸谷孝一，国川憲三，飯塚正則，水沼達也：新高性能A E減水剤によるコンクリートのスランプコントロール，セメント・コンクリート，No.478，pp.7-15，1986.12
- 3) 泉 達男，前川宏一，小沢一雅，国島正彦：固体間摩擦抵抗に及ぼすペーストの効果，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.10，No.1，pp.309-314，1988.6
- 4) 太田 晃，魚本健人：微粉末粒子に対するポリカルボン酸系分散剤の分散効果に関する検討，コンクリート工学論文集，Vol.10，No.2，pp.131-139，1999.5