

高性能AE減水剤の未吸着分が自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果

学籍番号: 1120313 氏名: 竹田侑平 指導教員: 大内雅博
高知工科大学工学部社会システム工学科

要旨: ポリカルボン酸系高性能AE減水剤が自己充填コンクリートのモルタル相の流動性に及ぼす効果を、セメントに吸着したものと未吸着のものに区別して定量的に明らかにした。低熱ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメント共に高性能AE減水剤の吸着量には上限が見られたが、その値は使用するセメントの種類により異なっていた。吸着量が上限に達した場合、流動性の増加は未吸着量の増分による効果であると見なし、未吸着量が流動性に及ぼす効果を定量化した。その効果は使用する粉体により違いが見られた。

Key Words: 高性能AE減水剤, 吸着量, 未吸着量, 流動性, 自己充填モルタル

1. はじめに

本研究の目的は、高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系）による自己充填コンクリートのモルタル相（以下、自己充填モルタルと呼称）への効果を、セメント粒子への吸着と未吸着とに区別して明らかにすることである。高性能AE減水剤の吸着分と未吸着分のそれぞれが流動性に及ぼす効果を個別に定量化することで、既往の研究では解明されていない、高性能AE減水剤の未吸着分による、流動性向上効果への寄与分を定量的に明らかにできると考えた。

2. 試験方法

2.1 使用材料と練り混ぜ方法

自己充填モルタルを用いて練り上がり時の自己充填モルタルの流動性及び見かけの吸着量を測定した。外気温によるフレッシュモルタルの流動性への影響を除外するため、室温20℃の恒温室内で試験を行った。また、試験にはバラツキが出ることを考慮して、本研究では全ての試験を1ケースにつき3バッチずつ行った。

①使用材料

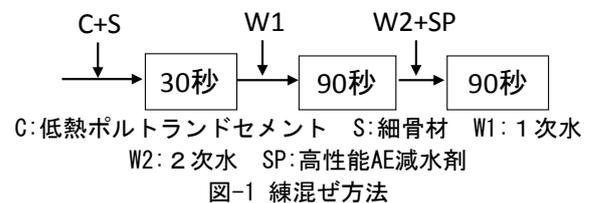
使用材料を表-1の通りである。セメントは低熱ポルトランドセメントを、細骨材は石灰石砕砂を、混和剤はポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用した。水道水は不純物を含んでいる可能性があるため、蒸留水を練り混ぜ水として使用した。

表-1 使用材料

セメント(C)	低熱ポルトランドセメント 密度3.24g/cm ³
細骨材(S)	石灰石砕砂 密度2.68g/cm ³ 粗粒率2.52
混和剤(SP)	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)
水(W)	蒸留水

②練り混ぜ方法

材料の練り混ぜにはパドルミキサーを用い、練り混ぜ速度を低速（自転速度：毎分140±5回転、公転速度：毎分62±5回転）にして行った。自己充填モルタルの練り混ぜ方法を図-1に示す。本研究での練り混ぜは全てこの方法で行った。



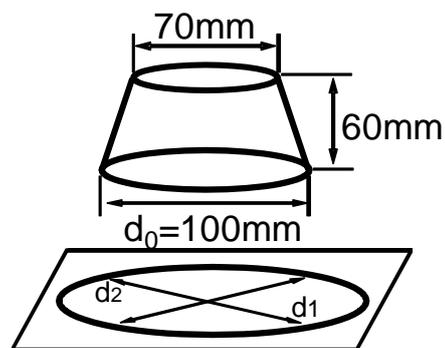
2.2 自己充填モルタルの流動性の試験方法

モルタルの流動性の測定には図-2に示す試験器を使用した。フローコーンにモルタルを詰め、振動を与えずフローの広がり方を測定し相対フロー面積比（Gm）を流動性の指標とした。

$$Gm = (d_1 \cdot d_2 - d_0^2) / d_0^2$$

ここで、 d_1 , d_2 : モルタルフローの直径 (mm)

d_0 : フローコーンの直径



2.3 高性能AE減水剤の吸着量の測定方法

自己充填モルタルの液相中の未吸着の高性能AE減水剤量を測定するために、モルタルサンプル(約150g×6本)を遠心分離器(日立製, CR16RX アングルロータ:T11A34)により約7000Gの重力を7分間作用させ、自己充填モルタルと液相を分離させた。その後、液相中の炭素量を全有機炭素測定装置(島津製, TOC-5000A)によって測定し、未吸着のみかけ量を求めた。この見かけ量から、高性能AE減水剤の吸着量を求めた。

2.4 配合条件

本研究で行った試験での自己充填モルタルの配合条件を表-2に示す。水セメント比(W/C)は30%, モルタル中の細骨材容積比(s/m)は45%で固定し、高性能AE減水剤の添加量は0.6~1.5%で0.1%ずつ増やしていった。

表-2 配合条件

W/C(%)	s/m(%)	SP/C(%)
30.0	45.0	0.60~1.50の0.10%刻み

s/m: モルタル中の細骨材容積比(%)

SP/C: 高性能AE減水剤添加量: セメント質量に対する質量比(%)

3. 観察による仮説の設定

3.1 観察結果と考察

高性能AE減水剤の添加量を増加させていくと吸着量と未吸着量が共に増加した。しかし、高性能AE減水剤の添加量が1.3%を超えると吸着量の増加が見られなくなり、未吸着量だけが増加し続ける傾向が見られた。

高性能AE減水剤の添加量を増やすと流動性も向上している。しかし、SP/C=1.3%以降の吸着量は上限に達しており、未吸着量だけが増加している。この状態でも流動性(Gm)は向上し続けているので、SP/C=1.3%以降の流動性(Gm)の向上は未吸着量だけの効果であると見なした。

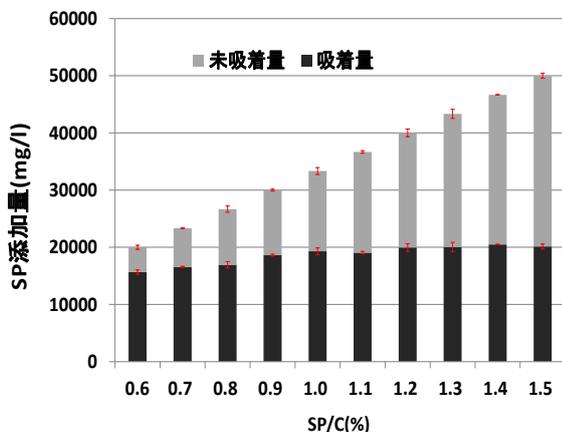


図-3 SP/Cごとの吸着量と未吸着量の変化(低熱セメント) W/C=30%, s/m=45%

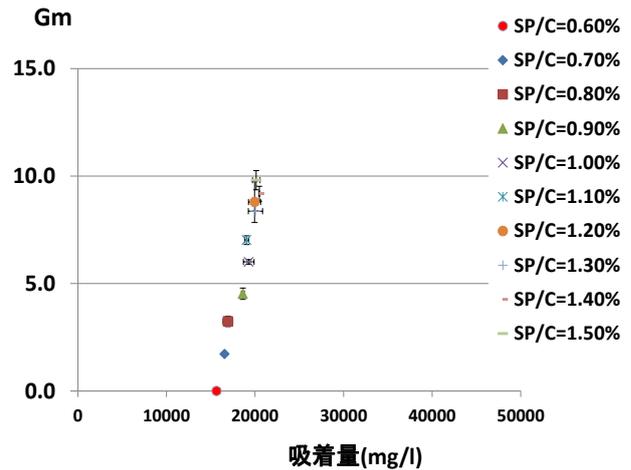


図-4 吸着量とGmの関係(低熱セメント) W/C=30%, s/m=45%

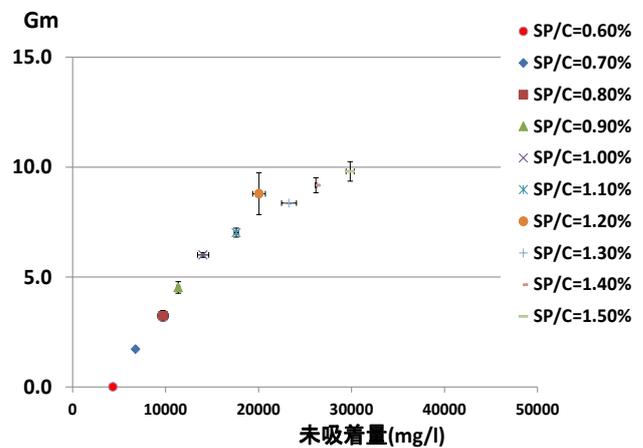


図-5 未吸着量とGmの関係(低熱セメント) W/C=30%, s/m=45%

3.2 効果の定量的な表現方法

図-4, 図-5より吸着量・未吸着量と自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果は直線的に伸びているように見られる。

このことから、以下のような直線式を立てて式に実際の測定値を代入することによりそれぞれの傾きを求め、その傾きを吸着量が流動性に及ぼす効果、未吸着量が流動性に及ぼす効果とした。効果がマイナスになることはないので $G_m(x, y) \geq 0$ とする。

$$G_m(x, y) = a(x - x_0) + b(y - y_0) \dots (1)$$

$$G_m(x, y) \geq 0 \text{とする}$$

$G_m(x, y)$: 吸着量と未吸着量が自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果の合計 (Gm)

a: 単位吸着量当たりの効果

b: 単位未吸着量当たりの効果

x: 吸着量 (測定値を代入) (mg/l)

y: 未吸着量 (測定値を代入) (mg/l)

x_0 : 効果が顕在化するために必要な吸着量(mg/l)

y_0 : 効果が顕在化するために必要な未吸着量(mg/l)

3.3 直線式への代入 (低熱ポルトランドセメント)

3.1でも述べたように上限以降の流動性(Gm)は未吸着量のみ効果であると考えられるので、式(1)に表-3中の未吸着量とその際の流動性(Gm)を2点代入し、連立方程式で未吸着量の傾きを求めることができる。代入した結果が式(2)である。なお、 x_0 , y_0 には、効果の効き始めであるSP/C=0.6%の吸着量、未吸着量の測定値を代入する。

$$G_m(x,y) = a(x \text{ mg/l} - 1.6 \times 10^4 \text{ mg/l}) + 2.2 \times 10^{-4}(y \text{ mg/l} - 0.43 \times 10^4 \text{ mg/l}) \dots (2)$$

$$G_m(x,y) \geq 0$$

次に表-4より式(2)に上限以前の吸着量と未吸着量、その際の流動性(Gm)を1点代入してやると式(3)を求めることができる。

これが低熱セメントにおける吸着量と未吸着量が自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果である。吸着量の効果(傾き)が未吸着量の効果(傾き)に比べると一桁違うので、全体的に見ると吸着量が自己充填モルタルの流動性(Gm)への効果を支配していることがわかる。

$$G_m(x,y) = 12.4 \times 10^{-4}(x \text{ mg/l} - 1.6 \times 10^4 \text{ mg/l}) + 2.2 \times 10^{-4}(y \text{ mg/l} - 0.43 \times 10^4 \text{ mg/l}) \dots (3)$$

表-3 各SP/Cにおける未吸着量とGmの測定値

SP/C(%)	未吸着量(mg/l)	Gm
1.30	$2.33 \times 10^4 \pm 8.03 \times 10^2$	8.36
1.40	$2.62 \times 10^4 \pm 6.50 \times 10^2$	9.18
1.50	$2.99 \times 10^4 \pm 4.33 \times 10^2$	9.81

表-4 各SP/Cにおける吸着量、未吸着量、Gmの測定値 (低熱ポルトランドセメント)

SP/C(%)	吸着量(mg/l)	未吸着量(mg/l)	Gm
0.60	$1.57 \times 10^4 \pm 3.66 \times 10^2$	$4.34 \times 10^3 \pm 3.66 \times 10^2$	0.00
0.70	$1.66 \times 10^4 \pm 8.63 \times 10^1$	$6.77 \times 10^3 \pm 8.63 \times 10^1$	1.72
0.80	$1.69 \times 10^4 \pm 5.51 \times 10^2$	$9.72 \times 10^3 \pm 5.51 \times 10^2$	3.24
0.90	$1.86 \times 10^4 \pm 1.61 \times 10^2$	$1.14 \times 10^4 \pm 1.61 \times 10^2$	4.52
1.00	$1.93 \times 10^4 \pm 6.03 \times 10^2$	$1.40 \times 10^4 \pm 6.03 \times 10^2$	6.01
1.10	$1.91 \times 10^4 \pm 2.25 \times 10^2$	$1.76 \times 10^4 \pm 2.25 \times 10^2$	7.02
1.20	$2.00 \times 10^4 \pm 6.81 \times 10^2$	$2.00 \times 10^4 \pm 6.81 \times 10^2$	8.79

3.4 観察から立てた仮説

観察結果より、以下の仮説を立てた。

(1) 使用する粉体 (セメント) の種類により、単位吸着量当たりの自己充填モルタルの流動性(Gm)に及ぼす効果が異なる。

(2) 高性能AE減水剤の未吸着分は液相中に漂っている状態にあるので、使用する粉体 (セメント) の種類にかかわらず、単位量あたりの未吸着分が流動性(Gm)に及ぼす効果は同じである。

4. 仮説の検証

4.1 検証方法

低熱ポルトランドセメントで行った同じ方法により、普通ポルトランドセメントを用いた自己充填モルタルについて試験を行った。使用粉体は表-5、配合条件は表-6の通りである。

表-5 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度3.15g/cm ³
---------	--------------------------------------

表-6 配合条件

W/C (%)	s/m (%)	SP/C (%)
30.0	45.0	0.80
30.0	45.0	1.10
30.0	45.0	1.20
30.0	45.0	1.30
30.0	45.0	1.50
30.0	45.0	1.70
30.0	45.0	1.90
30.0	45.0	2.00

s/m: モルタル中の細骨材の容積比 (%)

SP/C: 高性能AE減水剤添加量: セメント質量に対する面積比 (%)

4.2 検証結果

低熱ポルトランドセメントと同じように高性能AE減水剤の添加量を増加させていくと、吸着量、未吸着量共に増加していく傾向は変わらなかった。

普通ポルトランドセメントは低熱ポルトランドセメントに比べて吸着量が多くなった。吸着量の上限が低熱ポルトランドセメントが約20000(mg/l)であるのに対して、普通ポルトランドセメントの上限は約28000(mg/l)となり、低熱ポルトランドセメントより高くなるという結果になった。

吸着量・未吸着量と流動性への効果の関係については、低熱ポルトランドセメントと同様に、吸着量が上限に達した後は未吸着分が流動性の増加に支配していると見なした。

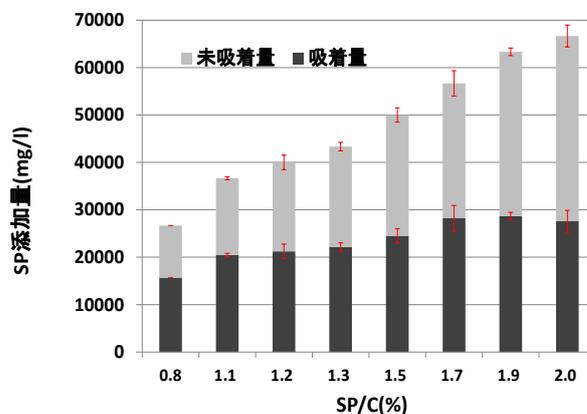


図-6 SP/Cごとの吸着量と未吸着量の変化 (普通セメント)
W/C=30%, s/m=45%

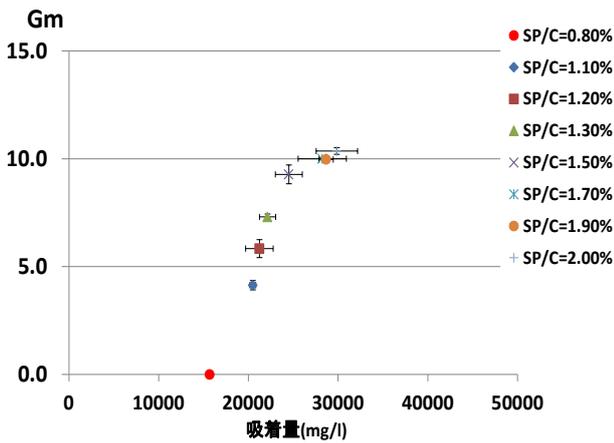


図-7 吸着量とGmの関係(普通セメント)
W/C=30%, s/m=45%

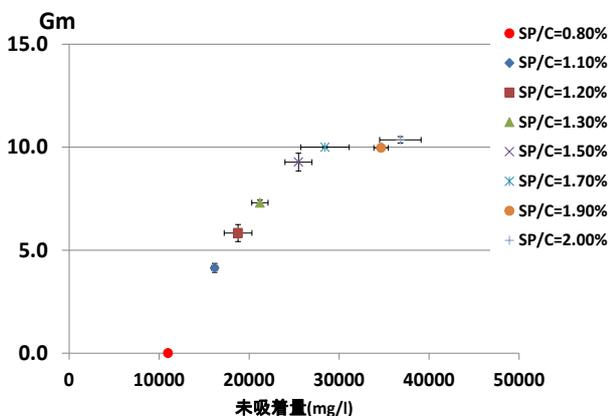


図-8 未吸着量とGmの関係(普通セメント)
W/c=30%, s/m=45%

4.3 直線式への代入(普通ポルトランドセメント)

3.2で立てた低熱ポルトランドセメントにおける吸着分・未吸着分が流動性に及ぼす効果の式に普通ポルトランドセメントの吸着量、未吸着量の測定値を代入したところ、Gmの数値に大幅なずれが見られ、効果が顕在化するために必要な吸着量はほぼ同じであったが、未吸着量には違いが見られた。以上のことから低熱ポルトランドセメントの式には普通ポルトランドセメントはあてはまらないことがわかったので、普通ポルトランドセメントでも低熱ポルトランドセメントとは別に直線式を立てることにした。

低熱ポルトランドセメントで行った式の立て方を普通ポルトランドセメントでも同じように行った。なお、普通ポルトランドセメントについて吸着量が上限を示したのはSP/C=1.7%とし、各SP/Cでの吸着量、未吸着量、Gmを求めた(表-7)。その結果、式(4)を求めた。これを普通ポルトランドセメントにおける吸着量と未吸着量が自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果とした。

$$Gm(x,y) = 99.3 \times 10^{-5}(x \text{ mg/l} - 1.6 \times 10^4 \text{ mg/l}) + 3.4 \times 10^{-5}(y \text{ mg/l} - 1.1 \times 10^4 \text{ mg/l}) \dots (4)$$

$$Gm(x,y) \geq 0$$

表-7 各SP/Cにおける吸着量、未吸着量、Gmの測定値
(普通ポルトランドセメント)

SP/C(%)	吸着量(mg/l)	未吸着量(mg/l)	Gm
0.80	$1.57 \times 10^4 \pm 0$	$1.10 \times 10^4 \pm 0$	0.00
1.10	$2.05 \times 10^4 \pm 3.29 \times 10^2$	$1.62 \times 10^4 \pm 3.29 \times 10^2$	4.14
1.20	$2.12 \times 10^4 \pm 1.54 \times 10^3$	$1.88 \times 10^4 \pm 1.54 \times 10^3$	5.83
1.30	$2.21 \times 10^4 \pm 8.99 \times 10^2$	$2.12 \times 10^4 \pm 8.99 \times 10^2$	7.30
1.50	$2.45 \times 10^4 \pm 2.69 \times 10^3$	$2.55 \times 10^4 \pm 2.69 \times 10^3$	9.27
1.70	$2.82 \times 10^4 \pm 8.01 \times 10^2$	$2.84 \times 10^4 \pm 8.01 \times 10^2$	10.00
1.90	$2.87 \times 10^4 \pm 2.31 \times 10^3$	$3.47 \times 10^4 \pm 2.31 \times 10^3$	9.97
2.00	$2.76 \times 10^4 \pm 1.40 \times 10^3$	$3.91 \times 10^4 \pm 1.40 \times 10^3$	10.36

5.まとめ

本研究で明らかになったことは以下の通りである。

(1) 高性能AE減水剤のセメントに対する吸着量には上限があり、その上限は粉体ごとに異なっていた。

(2) 流動性(Gm)には高性能AE減水剤の吸着・未吸着のどちらも影響を及ぼしているが、その効果は吸着分の方が圧倒的に大きかった。

(3) 高性能AE減水剤の吸着量が上限に達した場合、流動性(Gm)の増加は未吸着量の増分によるものと見なした。また、その未吸着量の増分による効果は粉体により異なっていた。

(4) 効果が顕在化するために必要な吸着量は粉体の種類による違いはほとんど見られなかったが、効果が顕在化するために必要な未吸着量では粉体の種類によって違いが見られた。

謝辞: 本研究を行うにあたり、高知工科大学社会システム工学科の宮地日出夫助手から技術指導頂きました。ここに記して深謝します。

【参考文献】

- (1) 竹村龍一・大内雅博：吸着及び未吸着の高性能AE減水剤のそれぞれが自己充填モルタルの流動性に及ぼす効果，高知工科大学学位論文，2011
- (2) 中山知大・大内雅博：外力によるセメントの凝集・分散と高性能AE減水剤の吸着，コンクリート工学年次論文集，Vol. 32, No. 1, pp. 1217-1222, 2010
- (3) 菅俣 匠・日比野 誠・大内雅博・岡村 甫：セメント粒子の分散性に及ぼすポリカルボン酸ポリマーの分子構造の影響，土木学会論文集，Vol. 662, V-49, pp. 17-28, 2000