

# 論文 砂の状態が流動性に与える影響

中村秀三\*1・小川彰一\*2

要旨：高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの流動性が、砂の種類だけでなく同一種の砂を用いていても、その砂の表面水量や投入順序などによって大きく影響を受ける原因について高性能 AE 減水剤の砂への吸着に着目して検討した。その結果、高性能 AE 減水剤の砂に対する吸着量が多くなるとコンクリートの流動性が低下すること、高性能 AE 減水剤は主に砂中に存在する微粉分に吸着すること、この微粉分への高性能 AE 減水剤の吸着は微粉分の存在状態によって異なることが明らかとなった。

キーワード：砂, 高性能 AE 減水剤, コンクリート, 流動性

## 1. はじめに

コンクリートの流動性を考える場合、砂が JIS 規格を十分に満足するような品質の良いものを用いる多くの場合、化学的にはほぼ不動態としてあつかわれコンクリートの流動性に対する砂の影響に関する研究は粒度や形状等の物理的側面について考察されたものが主であった(例えば)。

しかし、高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートは同一配合のコンクリートであっても製造時の砂の状態の差により、その流動性が大きく異なることが知られ、この原因は砂の粒度や形状等の物理側面の変動のみでは十分な説明ができていない。

そこで本研究では、コンクリートの製造の諸条件、特に砂の表面水と材料の投入順序が高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの流動性に与える影響について現象の確認とその原因について特に高性能 AE 減水剤の砂への吸着に着目して考察を加えた。

## 2. 練り混ぜ条件の影響

### 2.1 実験概要

#### (1) 使用材料

(a) セメント；早強ポルトランドセメント

(b) 細骨材；陸砂(F. M.=2.68, 洗い損失1.53%)

(c) 粗骨材；硬質砂岩碎石, 最大寸法 20mm

(d) 高性能 AE 減水剤 (記号 = PC1)；ポリカルボン酸系ポリオキシエチレン共重合体

#### (2) コンクリートの配合

試験に用いたコンクリートの配合を表-1に示す。

#### (3) 練混ぜ条件

練混ぜには強制パン型ミキサを用いた。材料の投入順序と砂の表面水の状態を図-1に示す3種類に変化させてコンクリートを練り混ぜた。

表-1 コンクリートの配合

W/C(%)	s/a(%)	Air(%)	PC1 添加量
37.5	41.0	2%	Cx1.5%
単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
W	C	S	G
150	400	722	1060

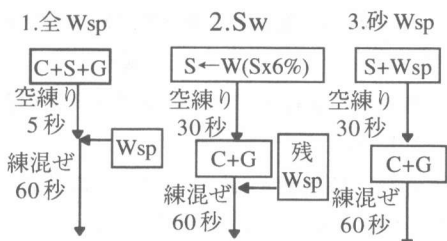


図-1 コンクリートの練混ぜ条件

\*1 太平洋セメント株式会社 佐倉研究所 イノベータティブコンクリートグループ (正会員)

\*1 太平洋セメント株式会社 佐倉研究所 コンクリート混和剤グループ (正会員)

#### (4)流動性の測定

練り上がった試料を練り板上で2回切り返した後、スランプ試験(JIS A 1101)を実施し、スランプ値を測定した。

#### 2.2 試験結果と考察

練混ぜ条件がコンクリートの流動性に与える影響の試験結果を図-2に示す。

スランプ値は、全材料を同時に投入した場合(全Wsp)は20.8cmであったのに比較し、砂に表面水を付着させた場合(Sw)は11.0cm、さらに砂に高性能AE減水剤をなじませてから他の材料と練り混ぜた場合(砂Wsp)は7.5cmへと大きく低下した。同一配合材料のコンクリートを練り混ぜても、練混ぜ時の砂の表面水の状態ならびに高性能AE減水剤と砂、セメントとの接触順序により大きくスランプ値は変化し、砂と高性能AE減水剤が相互に化学的な作用をしていることをうかがわせる結果が示された。

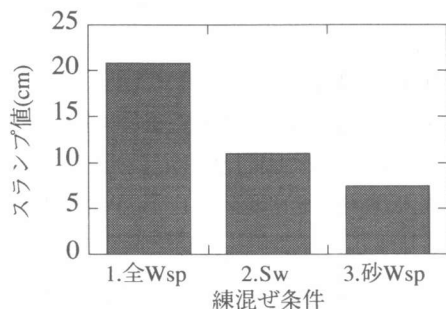


図-2 練混ぜ条件がコンクリートの流動性に与える影響

### 3. 流動性と高性能AE減水剤の砂への吸着

モルタルを用いて高性能AE減水剤ならびに砂の種類別に流動性に与える練混ぜ条件の影響を検討した。

さらに、高性能AE減水剤の砂への吸着量を測定し両者の相関について考察した。

#### 3.1 実験概要

##### (1)使用材料

(a)セメント；早強ポルトランドセメント

(b)細骨材；表乾状態(JIS標準砂は除く)

A 陸砂 (F.M.=2.68,洗い損失1.53%)

B 河床砂 (F.M.=2.30,洗い損失0.63%)

C 石灰石砕砂 (F.M.=2.69,洗い損失3.84%)

D JIS標準砂 (洗い損失0.02%)

(c)高性能AE減水剤；

PC1 ホリカルボン酸系ホリエキシレン共重合体

PC2 ホリカルボン基含有多元ホリマー

NSF ナフレンスルホン酸高縮合物

(2)モルタルの配合

・水セメント比=0.4・砂/セメント比=2

・高性能AE減水剤添加量=C x 1%

(固形分量:PC1=0.2%,PC2=0.3%,NSF=0.4%)

(3)モルタルの練混ぜ条件

練混ぜにはモルタルミキサを使用した。

材料の投入順序

・全Wsp；砂とセメントを10秒空練りし高性能AE減水剤を溶かした水を入れ60秒練り混ぜる。

・砂Wsp；砂と高性能AE減水剤を溶かした水を入れ30秒空練りしセメントを入れ60秒練り混ぜる。

(4)モルタルの流動性測定

練りならびに注水から30分経過後に、JIS R 5201に準じてフロー試験(テーブルの落下なし)を実施しフロー値を測定した。

(5)高性能AE減水剤の砂への吸着量の測定

表乾状態の砂500g、水97.5g、高性能AE減水剤2.5g ((2)モルタル配合と同一比率)を500mlの広口ポリビンに入れ3分間振とう機で振とうした後、試料を濾過ならびに遠心分離を行い液分を抽出する。

抽出した液分中の有機炭素含有量を全有機炭素含有量測定装置を用いて測定し、液中からの有機炭素喪失量から高性能AE減水剤の砂への吸着率を求めた。

比較のためにセメント250g、水100g、PC1の高性能減水剤2.5g((2)モルタル配合と同一比率)を練り混ぜ、同一の操作をし、セメントへの吸着率も求めた。

### 3.2 結果と考察

#### (1)モルタルのフロー値

高性能AE減水剤ならびに砂の種類別に練混ぜ条件がモルタルのフロー値に与える影響を試験した結果を図-3に示す。

どの混和剤を用いても、コンクリートでの試験結果と同様に、全材料を一度に投入して練り混ぜた場合(全Wsp)のフロー値に比較し、砂に高性能AE減水剤を接触させてからセメントを入れた場合(砂Wsp)のフロー値は小さくなった。

この練混ぜ条件の違いによるフロー値の差は、混和剤の種類により大きく異なった。ナフタレン系のNSFは練混ぜ条件の差によるフロー値の差が、ポリカルボン酸系のPC1ならびにPC2に比較して小さかった。PC1とPC2を比較すると練混ぜ条件の差によるフロー値の差はPC1がPC2より大きく、また、30分後のフロー値がPC1では練上がり直後に比べ増加しているのに対しPC2では減少した。

砂の種類を変化させた場合にも混和剤の場合と同様、全Wspの方法で練り混ぜた場合のフロー値に比較し、砂Wspの方法で練り混ぜた場合のフローのほうが小さかった。また、砂の種類別に練混ぜ条件の違いによるフロー値の差が大きく異なった。A 陸砂とB 河床砂において練混ぜ条件によりフロー値が大きく異なり、C 石灰石砕砂とD JIS標準砂では練混ぜ条件によるフロー値の差が小さかった。練上りに比べ

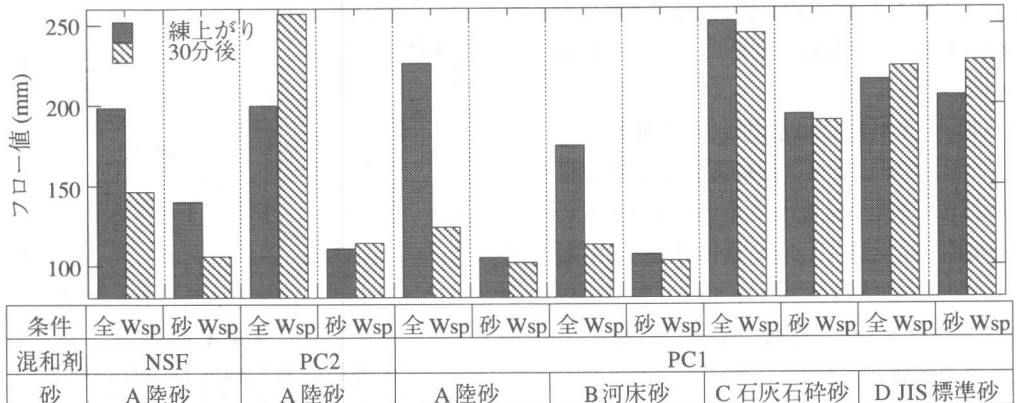


図-3 混和剤ならびに砂の種類別の練混ぜ条件がモルタルのフロー値に与える影響

30分後のフロー値は、A 陸砂、B 河床砂、C 石灰石砕砂の順にその減少量が大きかった。JIS標準砂では逆に30分後のフロー値が練上りに比べて増加した。

#### (2)高性能AE減水剤の砂への吸着

モルタルのフロー値を測定した高性能AE減水剤と砂の組み合わせにおいて高性能AE減水剤の砂への吸着率を測定した結果を図-4に示す。

A 陸砂を用い高性能AE減水剤の種類を変化させた場合、高性能AE減水剤の種類により砂への吸着率は大きく異なり、ナフタレン系のNSFの砂への吸着率は12%と小さく、ポリカルボン酸系のPC1とPC2は吸着率はそれぞれ59%ならびに74%と大きかった。

高性能AE減水剤PC1を用い砂の種類を変化させた場合のPC1の砂への吸着率は砂の種類によ

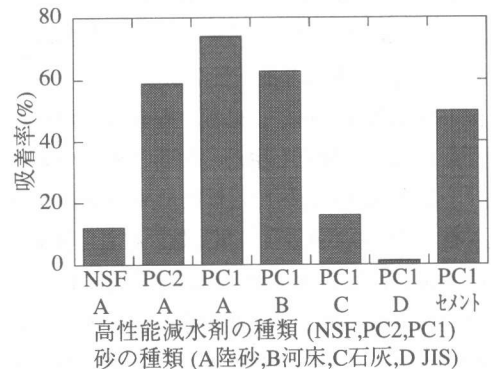


図-4 高性能AE減水剤の砂への吸着率

り大きく異なりA 陸砂の場合が最も大きく74%、次にB 河床砂の場合が63%、C 石灰石砕砂の場合が16%、JIS 標準砂の場合が1.3%の順であった。比較に実施した高性能AE減水剤のセメントへの吸着率は50%であった。

野田<sup>2)</sup>らが高性能AE減水剤のセメント、高炉スラグ微粉末、川砂ならびに石灰石砕砂の0.15 mm以下の微粉部分への吸着率を比較している。この結果ではポリカルボン酸系高性能AE減水剤は、セメント、川砂の微粉部分に吸着し、その吸着率はほぼ同じで石灰石砕砂の微粉部分にはほとんど吸着していない。本研究の結果もこの傾向は同じである。しかし、野田らの研究では、高性能AE減水剤のセメントへの吸着率と川砂の微粉部分への吸着率がほぼ等しいのに対し、本研究の結果では、陸砂の0.15 mm以下の微粉部分の砂中の含有率は8%(0.075 mm以下1.53%)なので高性能AE減水剤が砂の微粉部分に大部分吸着されたものとする、その吸着能はセメントを大きく上回る事となる。

図-5 に山砂、川砂、砕砂、海砂などのケイ酸ならびにケイ酸塩を主たる鉱物とするコンクリート用細骨材8種への高性能AE減水剤PC1の吸着率とそれらの砂の洗い損失量の相関を示す。

吸着量は被吸着物質の表面積と吸着能によって決まる。洗い損失量は微粉分の含有量を表し、砂の比表面積の一つ指標とはなるが、損失分に含まれる鉱物によって、その比表面積も吸着能も大きく異なるので砂の洗い損失量と高性能AE減水剤の砂への吸着量はかならずしも比例していない。

### (3) フローと高性能AE減水剤の砂への吸着

図-3の結果と図-4の結果を高性能AE減水剤の砂への吸着率とそれを用いたモルタルの練混ぜ条件の差によるフロー値の差の関係に整理しなおしたものを図-6に、図-7には高性能AE減水剤PC1を用い練混ぜ条件を全Wspとしたモルタルの練り上がりから30分後へのフローのドロップ量との関係を示す。

高性能AE減水剤の砂への吸着率が増加する

とセメント、砂、高性能AE減水剤、水を同時に練り混ぜた(全Wsp)モルタルのフロー値と砂、高性能AE減水剤、水を練り混ぜてからセメントを練り混ぜた(砂Wsp)モルタルのフロー値との差は増加した。このことよりコンクリートの流動性を考える場合、砂は化学的に不動態ではなく高性能AE減水剤と化学的相互作用をす

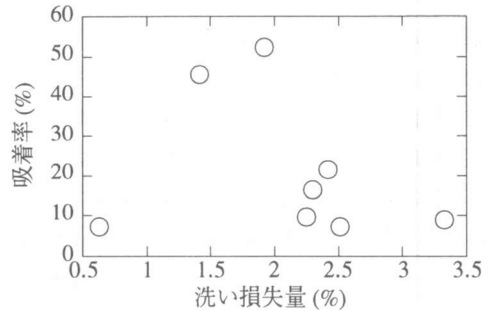


図-5 砂の洗い損失量と砂への高性能AE減水剤(PC1)の吸着率の関係

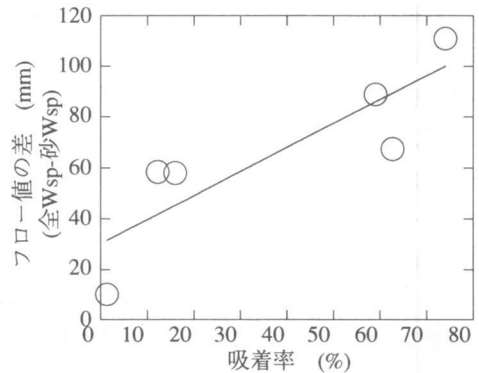


図-6 高性能AE減水剤の砂への吸着率と練混ぜ条件によるモルタルフロー値の差の関係

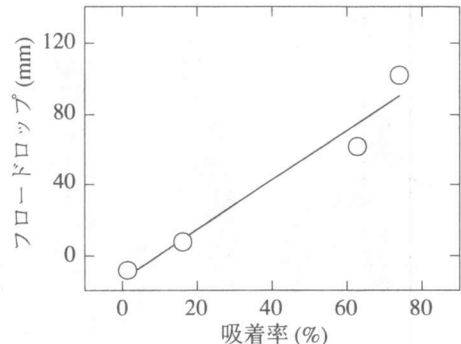


図-7 高性能AE減水剤(PC1)の砂への吸着率とその砂を用いたモルタルのフロードロップの関係

るもので、練混ぜ条件によって流動性が異なった原因は砂とセメントが高性能AE減水剤の吸着において競争したことによると考えられる。

フロードロップに対する高性能AE減水剤の砂への吸着率の影響は、吸着率の大きな砂を用いたモルタルほどフロードロップが大きかった。吸着率の大きな砂を用いると練混ぜ後の液中の高性能AE減水剤が希薄になり、その後フロードロップを防止するために持続的にセメント表面に吸着すべき量が不足したことによると考えられる。このように、砂に対する高性能AE減水剤の吸着量の多寡はコンクリートの流動性に大きな影響を与える。

#### 4. 砂中の微粉状態の影響

##### 4.1 実験概要

A 陸砂の微粉分の特性を調べることを目的に以下の実験を行った。

##### (1) 砂中の微粉試料の採取

絶乾状態にした試料をふるい分け0.075mm以下の微粉(0D)を採取する。0.075mm以上の試料1kgと水200gを2ℓのポリビンに入れ3分間振とうした後、0.075mmのふるいで水を流しながらふるい採取した濁り水を乾燥させ0.075mm以下の微粉(3m)を採取する。0.075mm以上の試料は再度ポリビンにもどし次に3時間振とうした後同様の操作をし0.075mm以下の微粉(3h)を採取する。さらに18時間振とうし同様の操作で0.075mm以下の微粉(18h)と0.075以上の砂(RS)を採取する。

##### (2) 微粉試料への高性能AE減水剤の吸着

各採取した試料1g、PC1=20mg(固形分)、水10gを30mlのポリビンに入れ24時間振とうした後の液中からの有機炭素喪失量から吸着量を求めた。

##### (3) 組成分析

微粉試料についてX線回折と蛍光X線分析を実施し含有元素ならびに鉱物組成を観察した。

##### (4) 微粉分添加モルタルの流動性

JIS標準砂に乾燥重量で2%の微粉を添加した

S/C=2, W/C=0.4, PC1添加量Cx1.3%のモルタルを練り混ぜフロー値を測定した。微粉は5日間水を含ませ調整した。このモルタルへのPC1の吸着量も前述の方法で測定した。

##### (5) 砂へ加わる機械力の影響

2ℓのポリビンに絶乾状態のA 陸砂1350gと水270gとを入れ30分間静置しただけの試料と所定時間振とうした試料を用いS/C=2, W/C=0.4, PC1添加量Cx1.4%のモルタルを練混ぜフロー値を測定した。

#### 4.2 結果と考察

A 陸砂から振とうによって採取された砂中の0.075mm以下微粉の量、PC1の吸着率、各微粉を添加したモルタルのフロー値を表-2に示す。絶乾状態で採取された微粉0Dよりも水を加え振とうし採取した微粉の方がPC1を吸着する能力が高かった。別の試料でBET比表面積を測定した結果では、18hに相当する試料の値は23m<sup>2</sup>/g、0D、3m、3hに相当する試料は8m<sup>2</sup>/gと比表面積と吸着量の間に相関は見られなかった。

組成分析の結果では吸着率の大きな3mならびに3hには他の試料に比べFeの含有量が多く、試料中のFeの含有量と吸着率の間には明確な比例関係が存在したがFeの由来を同定するには至らなかった。また、同じく3mならびに3h中にはモンモリロナイトやカオリンといった粘土鉱物も他の試料に比較し多く存在したがこれらの作用機構についても同定するには至らなかった。

図-8に0D, 3m, 3h, 18hの各砂中の微粉試料への高性能AE減水剤PC1の吸着率とこの微粉を添

表-2 砂中の微粉の特性

微粉試料名	微粉の		微粉添加モルタルの	
	含有率 (%)	吸着率 (%)	フロー (mm)	吸着率 (%)
—	—	—	232	32
0D	1.028	30.5	218	37.5
3m	0.808	94.3	162	58
3h	2.154	75.3	127	53.4
18h	1.960	45.8	134	49.8

RS(洗った砂)に対する吸着率は2.5%

加したJIS標準砂を用いたモルタルへのPC1の吸着率の関係を、図-9にはこのモルタルのフロー値との関係を示す。

微粉への吸着率とモルタルへの吸着率は比例しセメントと微粉がそれぞれ高性能AE減水剤を競争吸着していることが読みとれる。また、微粉への吸着率の高いものを添加した場合のモルタルフロー値の減少は、微粉への高性能AE減水剤の吸着により相対的セメントへの吸着量が減少したことによると考えられる。

図-10に異なる時間振とうした砂を用いて練混ぜたモルタルのフロー値を示す。振とう時間が長くなるほどフロー値が減少した、また静置しておいたものに比較して振とうしたものの方がフローの減少が大きかった。この原因は、振とうにより砂中に含まれる微粉分が液中に放出されたこと、さらには粉碎され高性能AE減水剤を吸着する界面が増加することによると考えられる。

## 5. まとめ

以上の検討により以下のまとめを得た。

- (1) 高性能AE減水剤は、その種類と砂の種類との組み合わせにより砂への吸着量が大きく異なり、ある組み合わせではセメントに対する吸着量よりも大きな値を示す。
- (2) 高性能AE減水剤の吸着量大きい砂を用いるとモルタルの流動性は低下する。この原因は、セメントと砂が高性能AE減水剤を競争吸着することによると考えられる。
- (3) 砂への高性能AE減水剤の吸着はそのほとんどが微粉分に吸着されると思われる。この砂中の微粉分の高性能AE減水剤の吸着能力は湿潤状態や分散状態によって異なっていると考えられる。
- (4) コンクリートの流動性は砂の表面水の状態、練混ぜ力、材料の投入順序によって大きく異なり、その原因は砂の微粉分への高性能AE減水剤の吸着量が条件によって大きく異なることによると考えられた。

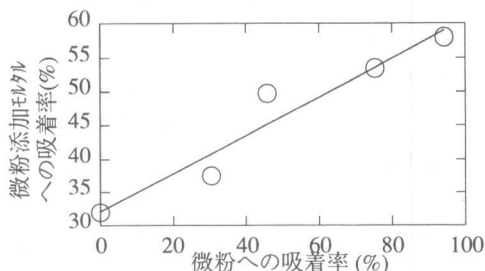


図-8 高性能AE減水剤の砂中の微粉への吸着率とその微粉を添加したモルタルへの吸着率の関係

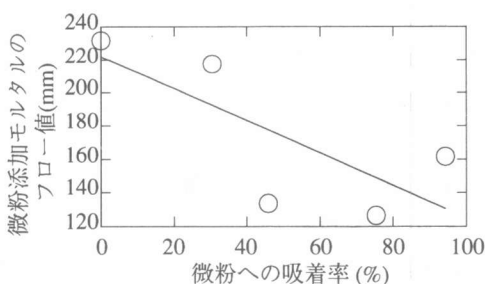


図-9 砂中の微粉への吸着率とその微粉を添加したモルタルのフロー値の関係

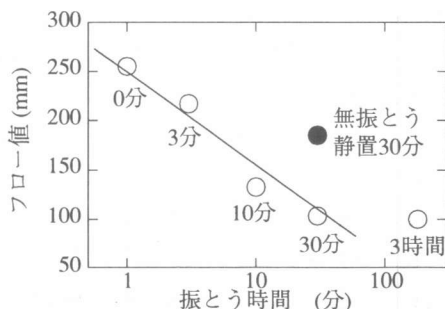


図-10 異なる時間振とうした砂を用いたモルタルのフロー値

## 参考文献

- 1) 重倉 祐光ほか：細骨材の粒形および石粉がコンクリートの諸性状におよぼす影響，セメント技術年報，Vol.42，pp.84-87，1988
- 2) 野田 鐵平ほか：石灰石砕砂を用いた高流動コンクリートの諸特性，第2回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集，pp.103-108，1994