

## 論文 再生微粉末を混和したセメント・モルタルの性質

李 琮揆<sup>\*1</sup>・坂井悦郎<sup>\*2</sup>・大門正機<sup>\*3</sup>・長瀧重義<sup>\*4</sup>

**要旨**：本研究ではコンクリートのリサイクルにおいて発生する微粉末を再利用するための基礎的データの提供を目的に反応率および粒度分布の異なる再生微粉末をセメントに混和した際の流動特性とモルタルの力学的特性について検討を行った。その結果、反応率の高い、すなわち、水セメント比が高い再生微粉末ほど高い粘度を示しており、ペースト粘度が最低になる減水剤の添加量も増加する傾向を示している再生微粉末添加により流動性は低下するが、流動性を改善するには、ナフタレン系よりポリカルボン酸系のほうがより効果的であった。再生微粉末を5%、10%、20%置換した際の圧縮強度の減少率はそれぞれ約10%、20%、30%になった。

**キーワード**：再生微粉，高性能減水剤，吸着量，流動性，圧縮強度

## 1. はじめに

資源の有効利用や地球環境保全の観点から廃棄物の処理および建設材料のリサイクルが重要になっている<sup>1)</sup>。現在、コンクリートの再利用方法は主として路盤材や埋め戻し材であるが、今後、多量に発生するコンクリート系建設材の廃棄物に対応するためには、基本的な再利用システムの提案が必要である。すでに、筆者らは建設材料の新しいリサイクルシステムを提案している<sup>2),3)</sup>。

このような再利用システムを考えると解体コンクリートからは原コンクリートに用いられていた骨材そのもの（原骨材）、原骨材にモルタルが付着したもの、モルタルだけのもの、および微粉部分が得られる。近年、この解体コンクリートから製造されるコンクリート用骨材（再生骨材）については多くの検討がなされているが、そのほとんどは再生粗骨材に関する研究であり、再生微粉末の有効利用に関する研究は、ほとんどない。実際の再生骨材の製造工程にお

いて、5mm以下の微粉部分の発生は細骨材を含め、約50%ほど占めている。また、モルタル付着の少ない良質な再生骨材を製造しようとすればするほど微粉の発生量は増加する。したがって、リサイクルという観点からもこの微粉の有効利用が重要である。また、再利用率向上やISO対策などの混合材としての利用の可能性なども含め、再生微粉末の新しい使い方の探索も必要である。

本研究ではコンクリートのリサイクルにおいて発生する微粉末の再利用をするための基礎的データの提供を目的に、高強度、中強度、低強度を想定し、水セメント比を変化させ6ヶ月間水和させた再生微粉末の性質とそれぞれの再生微粉末をセメントに混和した際の高性能AE減水剤の吸着特性や流動特性そしてモルタルの力学的特性について検討した。

## 2. 実験方法

## 2. 1 試料

\* 1 新潟大学 工学部建設学科 工博（正会員）

\* 2 東京工業大学助教授 大学院理工学研究科 材料工学専攻 工博（正会員）

\* 3 東京工業大学教授 大学院理工学研究科 材料工学専攻 工博（正会員）

\* 4 新潟大学教授 工学部建設学科 工博（正会員）

普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比の異なる3種類(35, 45, 62.5%)のセメントペーストを練り混ぜ、成形後、6ヶ月まで20℃で密封養生した。6ヶ月まで水和した試料をアセトンで水和停止後、アスピレーターを用いて常温で3時間乾燥した。乾燥した試料を振動millで2分間粉砕し再生微粉末とした。

また、再生微粉末をセメントに混和した際の諸特性を検討するため、それぞれの再生微粉末をセメントに対して内割で5, 10, 20mass%添加した。

## 2. 2 反応率および粒度分布の測定

再生微粉末の性質を把握するため、セメント構成鉱物中一番多量に存在する  $C_3S$  と長期まで反応が進行する  $C_2S$  の反応率を求めるため粉末X線回折法(内部標準法)により、それぞれ未反応物の定量分析を行った。内部標準物質としては  $Al_2O_3(2\theta: 50-53^\circ)$  (特級試薬)を使用し、試料に10%(内割り)混合した。回折ピークの面積を最小二乗法により、XRDにより得られたピークのプロファイルをフィッティングした関数を数値積分することにより求めた。XRD定量測定には、Cuターゲットを用い、ステップ幅0.02度、積算時間20秒で行った。 $C_3S$  および  $C_2S$  の測定角度はそれぞれ  $51-52.5^\circ$  および  $45-46.5^\circ$  ( $2\theta$ ; Cu-K $\alpha$ )とした。

再生微粉末の粒度分布は Microtrac HRA(Model: 9320-X100)によるレーザ散乱方式により測定した。

## 2. 3 吸着量測定

再生微粉末のみとセメントに再生微粉末を所定の量を添加した際の高性能減水剤の吸着量を測定した。高性能減水剤としてはその主成分がナフタレン系(以下NSと略す)とポリカルボン酸系(以下PCと略す)を用いた。

W/C=50%のセメントペースト(再生微粉末ペースト)を10分間練り混ぜて吸着させ、この混合溶液を遠心分離で固相と液相に分離した。最初の分散剤濃度と遠心分離した液相の分散剤濃

度をT.O.C(全有機炭素分析計, TOC 5050A; SHIMADZU社製)により求め、両者の差より粉体1g当たりの吸着量を算出した。

## 2. 4 粘度測定

所定量の高性能減水剤を添加し、再生微粉末を所定の量混和したセメントペーストを水セメント比40%で10分間練り混ぜ、粘度を測定した。粘度計は回転数制御式回転粘度計(HAAKE社製)を用いて、ずり速度  $0s^{-1} \rightarrow 1000s^{-1} \rightarrow 0s^{-1}$  (1サイクル: 6min)の粘度測定を行い、ずり速度  $1000s^{-1}$  における見かけ粘度を評価した。なお測定温度は20℃とした。

## 2. 5 モルタル試験

反応率および粒度分布の異なる再生微粉末をセメントに対して5, 10, 20mass%混和し、7号珪砂を用い、モルタルを作成した。その際、砂セメント比は1, 水セメントの比は50%とした。20x20x80mmの供試体を作成し、材齢1日までは湿空で、型枠内で養生し、脱型後標準養生を3日、7日、28日間実施し、圧縮強度、曲げ強度を測定し評価した。

## 3. 結果と考察

### 3. 1 再生微粉末の性質

再生微粉末の時間による変化が問題になる可能性があり、いつの時点で供試体を作製したかを明確にしておく必要がある。今回使用した再生微粉末は各水セメント比で6ヶ月間反応させたものを用いた。セメント構成鉱物中一番多量に存在する  $C_3S$  とセメント構成鉱物中でもっとも反応が遅い  $C_2S$  の水和6ヶ月での反応率と水セメント比との関係をFig.1に示した。高強度、中強度、低強度を想定し、水セメント比を35%、45%および62.5%に変化させた。水セメント比62.5%の場合は水和6ヶ月で  $C_3S$  の反応率は97%程度を示している。これに対して水セメント比35%の場合には、材齢6ヶ月での反応率は約87%で、他の場合より水和率が低く長期に渡り反応が進行している。

C<sub>2</sub>S の反応率は水セメント比 62.5%の場合、水和 6 ヶ月で 93%程度を示している。これに対して水セメント比 35%の場合には、材齢 6 ヶ月での反応率は約 78%なり、C<sub>2</sub>S の場合も水セメント比が大きいかほど反応率は高くなっているが、C<sub>3</sub>S に比べ長期的に反応が進行している。しかし、いずれの場合も再生微粉末の大部分は水和生成物と考えられる。

Fig.2 に各水セメント比で 6 ヶ月間水和させた試料を粉砕して製造した再生微粉末の粒度分布を示した。水セメント比が高いほど、すなわち反応率が高いほど水和物の割合が増加し、より微粉になっている。このように再生微粉末は、同じ粉砕条件でも、最初の水セメント比により微粉量も異なる。

Fig.3 に各水セメント比で 6 ヶ月間水和させた再生微粉末と PC と NS の高性能減水剤との飽和吸着量を示した。未水和セメント粉末より再生微粉末への高性能減水剤の吸着量は約 2 倍になっている。さらに、水セメント比が高いほど、すなわち、反応率が高いほど、飽和吸着量は大きな値を示している。NS 系の減水剤を添加した際の飽和吸着量は PC 系減水剤より 4 倍程度の値を示している。

Fig.4 に各水セメント比で 6 ヶ月間水和させた再生微粉末に PC と NS の高性能減水剤が飽和吸着に到達した際の見かけ粘度を示した。反応率の高い、すなわち、水セメント比が高い再生微粉末ほど高い粘度を示しており、NS の場合は、粘度の低下は PC の場合より小さく、流動性は改善されていない。特に、再生微粉末の水和率の高いものほど流動性が著しく低下している。以上より、比表面積の大きな粉体である再生微粉末を用いる場合には、原セメントの場合と比較して NS の添加より PC による効果がより大きくなっている。これは分子断面積の大きな PC の方が NS より、より低添加率で粉体の分散に必要な吸着量を確保することができるためと考えられる。

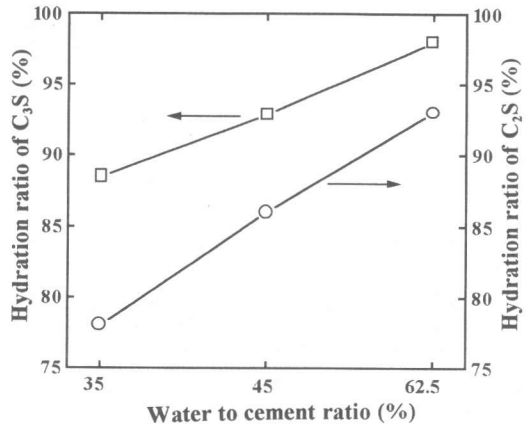


Fig.1 Hydration rate of C<sub>3</sub>S and C<sub>2</sub>S for different w/c ratio at 6month

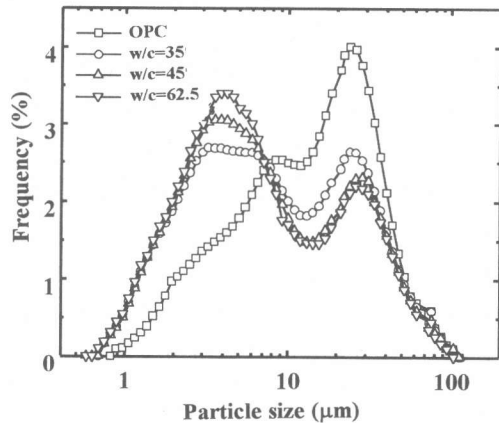


Fig.2 Particles size distribution of recycled powder hydrated at 6month

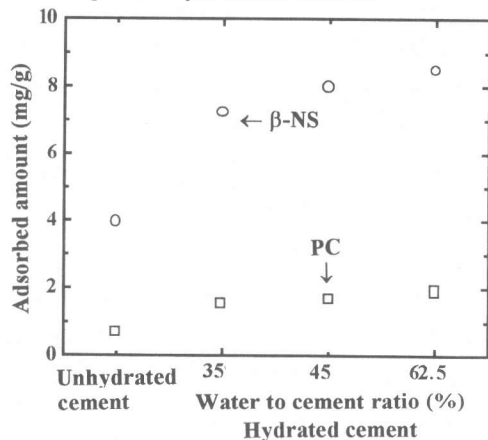


Fig.3 Relationship between w/c ratio and adsorbed amount of SP

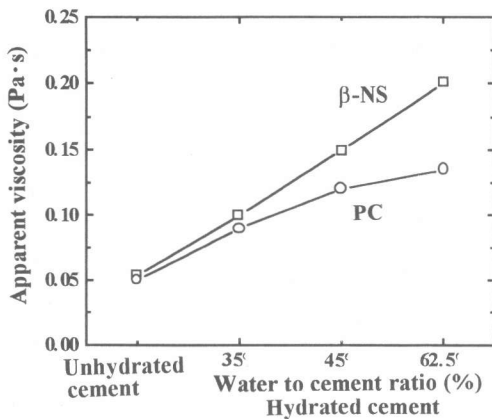


Fig.4 Relationship between w/c ratio and apparent viscosity

### 3. 2 再生微粉末を混和したセメントペーストの性質

再生微粉末の再利用率向上やISO対策などを含め、混和材や混合材など再生微粉末の新しい使い方を探索するため、再生微粉末を実際のセメントを混和した際の諸特性を把握することは重要である。

Fig.5, 6 に普通ポルトランドセメントに w/c=35%で6ヶ月水和させた再生微粉末を0%, 5%, 10%, 20%混和した系へのポリカルボン酸塩系(PC)とβ-ナフタレンスルホン酸塩系(NS)の吸着量を示した。PCとNSどちらの場合も添加量の増加とともに吸着量は増加し、ある添加量で吸着量は飽和している。Fig.5に示したように再生微粉末無添加の場合、粉体1g当たりPC系減水剤0.1mass%添加で飽和吸着量となっている。これに対して再生微粉末を5, 10, 20%混和した場合の吸着量が飽和に達するPC系減水剤の添加量は0.2mass%と若干大きな値を示している。また、飽和吸着量は無添加の場合0.7mg/gであるが、再生微粉末を5%, 10%, 20%混和した場合の飽和吸着量はそれぞれ0.95mg/g, 1.15mg/g, 1.6mg/gになり、再生微粉末の混和量の増加に伴い飽和吸着量が増加している。

Fig.6に示したようにNSを添加した場合も、再生微粉末の混和により吸着量が飽和に達する

添加量は若干多くなっている。また、再生微粉末の混和率の増加に伴い飽和吸着量も増加しており、無添加で3.6mg/gが5%, 10%, 20%添加するとそれぞれ5.2mg/g, 6.4mg/g, 8.0mg/gとなった。NS系の分散剤を添加した場合、吸着量が飽和に達する添加量はPC系に比べ、大きな値を示している。

Fig.7, 8に普通ポルトランドセメントに各水セメント比で6ヶ月間水和させた再生微粉末を10%混和した系にPCとNS系の分散剤を添加した際の添加量による吸着量の関係を示した。

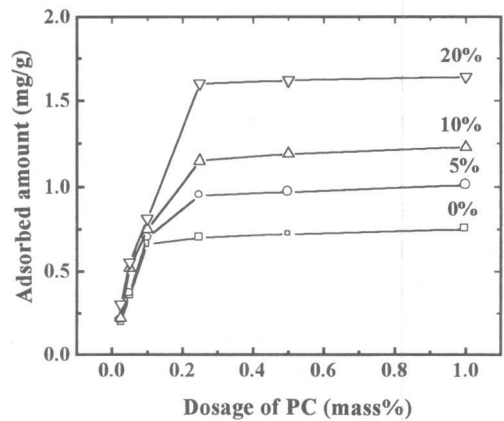


Fig.5 Relationship between the dosage and adsorbed amount of PC

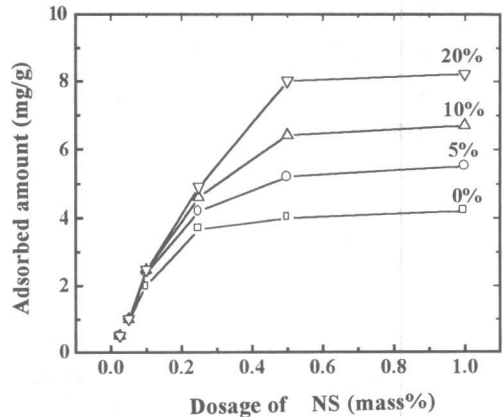


Fig.6 Relationship between the dosage and adsorbed amount of NS

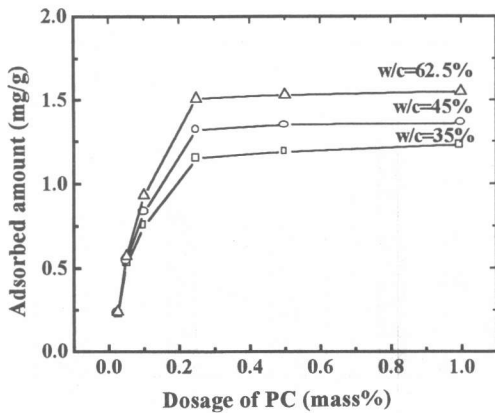


Fig.7 Relationship between the dosage and adsorbed amount of PC

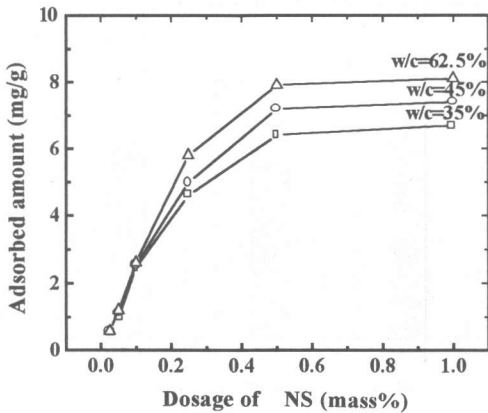


Fig.8 Relationship between the dosage and adsorbed amount of NS

PC と NS どちらの場合も添加量の増加とともに吸着量は増加し、PC の場合は 0.25mass%、NS の場合は 0.5mass%の添加率で吸着量飽和に達する。水セメント比が高いものを添加したもののほど、すなわち、反応率が高く水和生成物がほど、吸着量は多くなる傾向を示し、飽和吸着量も大きな値を示している。

Fig.9,10 に普通ポルトランドセメントに水和 6ヶ月の再生微粉末を 0%、5%、10%、20%混和した系に PC と NS を添加した際のペーストの見掛け粘度を示した。高性能減水剤の添加量の増加とともにペーストの見掛け粘度は減少し、PC の

場合、いずれの再生微粉末の混和率でも 0.25mass%の分散剤の添加量からペーストの見かけ粘度は最低になっている。また、最低になるペーストの見かけ粘度は再生微粉末の混和量が多くなるほど若干増加しているものの大きな差は見られない。Fig.5 に示したほぼ飽和吸着量を示す添加量においてもっとも小さな値を示している。

これに比べ NS を添加した場合、ペーストの見かけ粘度が最低になる NS の添加量は再生微粉末を添加すると非常に大きな値を示し、これも飽和吸着に達する添加量とほぼ同じ値を示している。

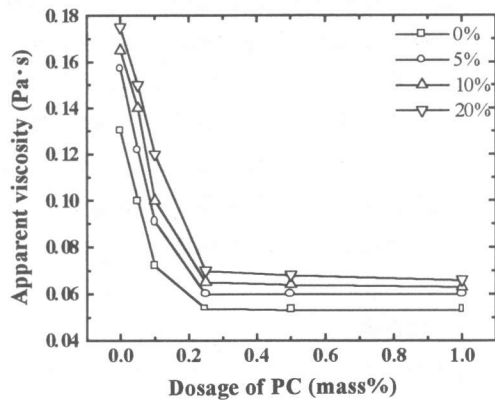


Fig.9 Relationship between the dosage of PC and apparent viscosity

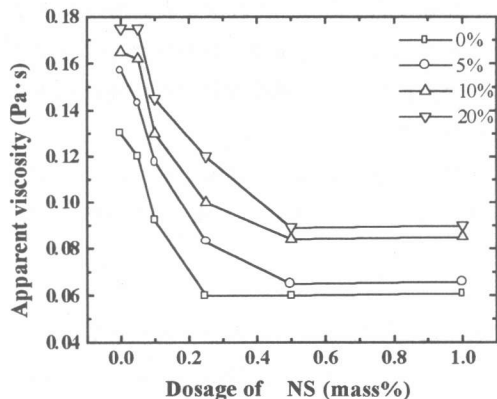


Fig.10 Relationship between the dosage of NS and apparent viscosity

また、最低の見かけ粘度の差も PC 系に比べ、大きくなっている。再生微粉末を一部セメントに置換して再利用する場合には、その比表面積が非常に大きいことより<sup>2)</sup>、流動性を確保するためには、分子占有断面積が大きい PC が NS より効果的である。

### 3. 3 モルタルの圧縮強度

Fig. 11 に普通ポルトランドセメントに再生微粉末を 0%, 5%, 10%, 20%混和した際のモルタル(水セメント比 50%, 砂セメント比 1)の圧縮強度と Fig. 12 に各水セメント比で6ヶ月間水和させた再生微粉末を 10mass%混和した際の圧縮強度を示した。材齢 3 日では、再生微粉末混和による圧縮強度への影響は少ないが、材齢 28 日では、混和量の増加に伴い圧縮強度は減少し、再生微粉末を 5%, 10%, 20%混和した際の圧縮強度の減少率は、それぞれ約 10%, 20%, 30%になっている。また、水セメント比の異なる再生微粉末は、同一混和量では Fig. 12 に示したようにほぼ同様の圧縮強度を示した。

### 4. まとめ

再生微粉末について以下のことが明らかになった。

- 1) 再生微粉末の利用により、流動性は低下するが、流動性を改善するには、NS より PC の方がより効果的である。これは比表面積の大きな再生微粉末には、大きな分子占有断面積を有すると思われる PC が低添加量で飽和吸着となるためと考えられる。
- 2) 再生微粉末を 5%, 10%, 20%添加した際の圧縮強度の減少率はそれぞれ約 10%, 20%, 30%となった。

本実験は、未来開拓学術研究推進事業「ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発」(代表長瀧重義)の一環として実施したものである。ここに関係各位に深く感謝致します。

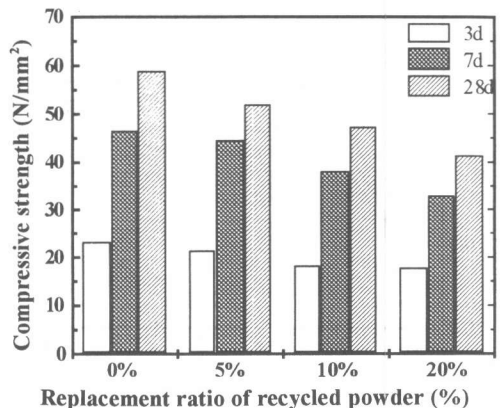


Fig.11 Compressive strength of mortars with recycled powder

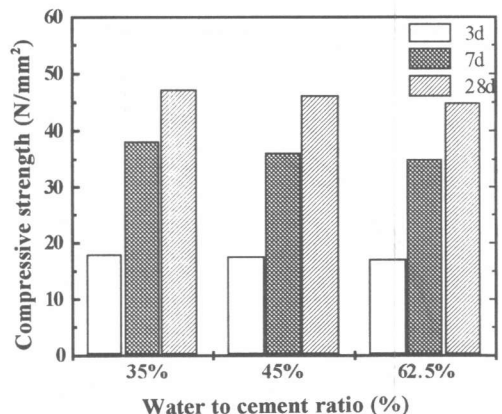


Fig.12 Compressive strength of mortars

### 参考文献

- 1) 長瀧重義ほか, “再生粗骨材を用いたコンクリートの諸特性”, 第 52 回セメント技術大会講演要旨, pp.400-401(1998).
- 2) 李琮揆, 坂井悦郎, 大門正機, 長瀧重義, “再生微粉末の水和性と吸着特性”, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, 193(1999)
- 3) 坂井悦郎, 李琮揆, 小菅啓一, 大門正機, シリカフェームを混和した高強度コンクリートの長期性状とリサイクル “, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, 229(1999)