

論文 活性化した廃コンクリート微粉のコンクリート混和材としての利用に関する一考察

奥主 謙太郎*1・安東 修一*1・鶴澤 正美*2

要旨：本研究では加熱すりもみ法を模擬した装置により作製した廃コンクリート微粉を添加したモルタルの圧縮強度試験および、ボールミル混合により活性化した廃コンクリート微粉を添加したモルタルの圧縮強度と塩分浸透試験を実施した。その結果、普通ポルトランドセメントを用いたモルタルでは廃コンクリート微粉の添加により圧縮強度が低下したが、高炉セメント B 種では増進した。また、廃コンクリート微粉の活性化処理により普通ポルトランドセメントを用いた場合においても圧縮強度が低下しないことが判明した。塩分浸透試験では、廃コンクリート微粉の添加により塩分浸透が抑制された。

キーワード：廃コンクリート微粉、加熱すりもみ法、高炉スラグ微粉末

1. はじめに

大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会から脱却し循環型社会に転換するため、我が国では 2000 年に制定された循環型社会形成推進法¹⁾の基づき、循環型社会形成推進基本計画を策定し資源の効率的・循環的な利用について種々の試みがされている。このような状況において産業廃棄物発生量の約 1 割を占めるコンクリート塊は年間 3690 万 t²⁾排出されているが、再資源化および縮減率は 99.3%であり主に再生クラッシュランとしてほぼ全量がリサイクルされている。この点に鑑みると廃棄物の大量使用の観点からは優れている。しかしこの利用方法は、今後新規の道路工事の減少により再生クラッシュランの需要は縮小、そして高度経済成長期に建設された構造物が耐用年数を終え解体される事例が増加すると予測されていることから³⁾、循環型社会の構築のためには廃コンクリートは骨材およびセメントとして新たにコンクリートに循環させる水平リサイクルが望ましいと考えている。骨材のリサイクルについては再生骨材として 2005 年に日本産業規格に制定され現在まで改正がなされており準備は整っている。その一方で骨材のリサイクル時に発生する廃コンクリート微粉についてはセメント原料への利用⁴⁾や無機微粉末代替としての利用⁵⁾が検討されているが大量使用法は未だ確立されていない。廃コンクリート微粉は、製造時に二酸化炭素を排出したセメントを含有しており、微粉からは一切の二酸化炭素を排出しないカルシウム資源すなわち脱炭素カルシウム資源であると言える。この廃コンクリート微粉の利用方法の確立が可能となれば、カーボンニュートラルや資源のリサイクルにも大きく貢献することができる技術でもある。

筆者らは後述の活性化処理を下水汚泥焼却灰やフライアッシュなどのコンクリート混和材に適用し高付加価値化を試みている⁶⁾⁹⁾。本研究では、これまでポゾラン反応性を有するコンクリート混和材に適用されてきた活性

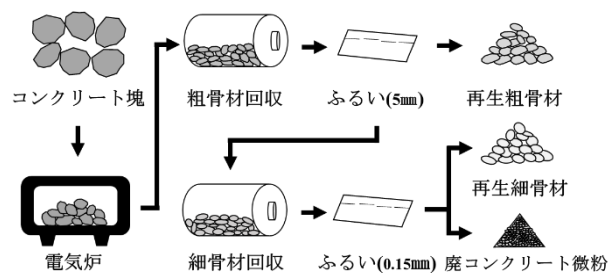


図-1 加熱すりもみ法のフロー図¹⁰⁾

化処理が、水和反応を経て硬化したセメントを含む廃コンクリート微粉にも適用可能であるかを検討するとともに、一度コンクリートとして利用されたセメント分のコンクリート混和材としての再利用技術を確認することを目的としている。

2. 試料の調製法

本研究では、加熱すりもみ法を模擬した装置で作製した廃コンクリート微粉(以下、RCP と略記)を使用した。加熱すりもみ法の詳細を図-1 に示す。加熱すりもみ法は粗粉碎したコンクリート塊を電気炉で大気中 300℃加熱を行う。これによりセメントペースト部のケイ酸カルシウム水和物が脱水し脆弱化することで骨材と微粉とに分級することができる方法である。この方式により得られた再生細骨材および再生粗骨材は H クラスであり、想定される用途として特に制限がないため天然骨材と同様に使用することができる。本研究では、RCP のみを原料コンクリートから得る目的であるため骨材の回収は行っていない。すなわち、コンクリートの材齢 28 日圧縮強度試験後の供試体廃材を原料コンクリートとしてジョークラッシャーで粗粉碎し、大気中での加熱後、チューブミルで粉碎し RCP を作製した。なお、本研究に供した微粉の粒径は 0.15mm 以下とした。原料コンクリートは複数の配合のものを使用しているが、いずれも使用セメント

*1 日本大学大学院 生産工学研究科 (学生会員)

*2 日本大学 生産工学部 環境安全工学科教授 博士(工学) (正会員)

は普通ポルトランドセメント，材齢 28 日における呼び強度は 42～51N/mm²であり，混練からは 2 年ほど経過したものを使用している。原料コンクリートの一例として，使用材料を表－1，配合表を表－2 に示す。

3. 実験方法

3.1 廃コンクリート微粉の性状

(1) 概要

RCP は加熱すりもみ法を模擬した装置によって作製したセメント含有微粉である。そのため，RCP が含有するセメント成分の分析を行い性状の確認を実施した。

(2) 分析方法

分析項目は，グルコン酸ナトリウム溶解による硬化コンクリートの単位セメント量試験¹¹⁾，粉末 X 線回折(XRD)，蛍光 X 線分析(XRF)および熱重量示差熱分析(TG-DTA)である。XRD においては，モルタルの圧縮強度増進に必須とされている Alite の確認を目的として，測定を行った。測定条件は，走査範囲 27～35°(2 θ .CuK α)，走査速度 2°/min とした。RCP は粗粒であるためメノウ製乳鉢で微粉末状にしたものを用いた。XRF においては，セメントの主要成分である CaO，SiO₂，Al₂O₃，Fe₂O₃ およびその他の酸化物の量を分析し，これらを 100%に規格化した。また，窒素雰囲気下での TG-DTA による 450℃付近および 550～800℃の減量から水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウム含有量を算出した。

3.2 廃コンクリート微粉を添加したモルタルの圧縮強度増進性状

(1) 概要

RCP をコンクリート混和材として使用した場合のモルタルの物性を確認するため，普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用いたモルタルに RCP を添加し圧縮強度試験を実施した。

(2) 使用材料および配合

使用材料は，普通ポルトランドセメント(C，密度 3.16g/cm³)，高炉セメント B 種，JIS 標準砂(S，セメント協会強さ試験用)，廃コンクリート微粉(RCP，BET 比表面積 5.46m²/g)，上水道水(W)および高性能減水剤(Sp，ポリカルボン酸系)である。なお，高炉セメント B 種は普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末(GBFS，比表面積 4220cm²/g，密度 2.91g/cm³，石膏添加なし)を 40mass%置換したものとした。普通ポルトランドセメントを用いたモルタルは N，高炉セメント B 種を用いたモルタルは BB と表記している。配合を表－3 に示す。以降，各配合の名称は Symbol の通りとする。水結合材比(W/B)は 50mass%の 1 水準，廃コンクリート微粉添加率(RCP/B)は 0，10，30 および 40mass%の 4 水準とした。廃コンクリート微粉は結合材の質量比で添加し，結合材質

表－1 原料コンクリートの使用材料

分類	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm ³
水	W	上水道水
細骨材	S	富津市産陸砂 表乾密度2.61g/cm ³ ，粗粒率2.60
粗骨材	G ₁	美祢市秋芳産砕石 (最大粗骨材寸法20mm) 表乾密度2.70g/cm ³ ，粗粒率61.0
	G ₂	佐野市関馬町産砕石 (最大粗骨材寸法20mm) 表乾密度2.65g/cm ³ ，粗粒率60.0
減水剤	Sp	高性能AE減水剤 遅延型 ポリカルボン酸系

表－2 原料コンクリートの配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
		C	W	S	G		Sp
					G ₁	G ₂	
40	46.2	438	175	733	462	461	5.96

表－3 RCP を添加したモルタルの配合

Symbol	RCP/B (mass%)	Components (g)					
		W	B		RCP	S	Sp
			C	GBFS			
N	－	225.0	450.0	－	－	1350.0	－
N-RCP10	10	224.0			45.0	1260.0	1.0
N-RCP30	30	223.5			135.0	1215.0	1.5
N-RCP40	40	223.0			180.0	1170.0	2.0
BB	－	225.0	270.0	180.0	－	1350.0	－
BB-RCP10	10	224.0			45.0	1260.0	1.0
BB-RCP30	30	223.5			135.0	1215.0	1.5
BB-RCP40	40	223.0			180.0	1170.0	2.0

量一定で JIS 標準砂と置換した。

(3) 供試体作製および圧縮強度試験

供試体の作製は JIS R 5201 を参考にして行い，混練には JIS モルタルミキサーを用いた。型枠は 40×40×160mm の角柱型として，供試体の成型後は型枠上にガラス板を載せ水分の蒸発を抑制した。20℃，相対湿度 60% の室内で前置き養生を行い翌日に脱型を行った。脱型した供試体は試験材齢を 7，14 および 28 日として水中に投じた。供試体の圧縮強度試験は JIS R 5201 附属書 C に準拠し，6 点の平均値を圧縮強度とした。

3.3 活性化処理された廃コンクリート微粉添加モルタルの圧縮強度増進性状

(1) 概要

未処理の RCP およびボールミル混合により活性化処理された RCP を添加したモルタルの圧縮強度試験を行い，活性化処理による圧縮強度増進性状の差異について検討した。

(2) ボールミル混合による活性化処理

ボールミル混合の模式図を図－2 に示す。本報におけるボールミル混合とは，円筒型の容器内に試料，水酸化カルシウム飽和水溶液，上水道水，JIS 標準砂およびセラミックスボールを投入し 2 段式ボールミル回転架台を用

いて混合を行う活性化方法である。混合時には容器内でセラミックスボール同士が衝突し混和材粒子は微粒子化される。それと同時に、メカノケミカル反応を生じさせ微粒子化された混和材の表面、および投入している JIS 標準砂の表面にケイ酸カルシウム水和物を担持させることを志向している。筆者ら研究チームはボールミル混合による活性化処理を種々のコンクリート混和材へ適用し高付加価値化を試みている⁶⁾⁹⁾。これまでの研究では、フライアッシュの最適混合条件を固液比率、水量、砂量、セラミックスボールの材質、セラミックスボールの直径や個数の組み合わせ、混合時間および回転架台の回転数の7項目を試行錯誤的に組み合わせ、最大圧縮強度を発現する最適混合条件を明らかにした。その上で、ボールミル混合によって起こる圧縮強度発現のメカニズムおよび水和特性の要因について解明し、フライアッシュの活性化がセメント中の Alite の水和反応を促進するという結果を得ている。そのため、セメント含有微粉である RCP も活性化の可能性を有すると考えた。そこで、本研究では青木らの高活性化フライアッシュを用いたモルタルの圧縮強度発現に及ぼす諸条件の影響⁹⁾から最適混合条件を参考にした。円筒容器は広口試薬瓶(直径 73mm, 高さ 168mm, 内容量 500ml, 低密度ポリエチレン製)、セラミックスボールの材質はアルミナであり、15mm を 10 個、13mm を 5 個とした。また、回転架台の回転数は 30rpm, 混合時間は 1 時間とした。さらに容器内の配合については RCP の質量比で水酸化カルシウム飽和水溶液 50%, 上水道水 63%, JIS 標準砂 45%とした。なお、水酸化カルシウム飽和水溶液の使用は予備的検討において、使用しない場合に比べてモルタルの圧縮強度発現性が明確に向上することが確認された結果に基づくものである。

(3) 使用材料および配合

使用材料は、前節 3.2(2)に加えて水酸化カルシウム飽和水溶液(市販の水酸化カルシウムを溶解)を用いた。ボールミル混合における容器内の配合は表-4、混練時の配合は表-5 に示す通りである。ここで、表-5 における RCP-S とは表-4 の配合でボールミル混合した後の RCP スラリーである。水セメント比(W/C)は 50mass%の1水準、RCP 添加率は 0 および 20mass%の2水準として、未処理の RCP を添加したモルタルは Untreated, RCP-S を添加したものは Treated と表記した。Treated の配合は、水酸化カルシウム飽和水溶液を含む水分、RCP および JIS 標準砂の量が Untreated の配合と同一になるようにしている。

(4) 供試体作製および圧縮強度試験

供試体の作製は JIS R 5201 を参考にして行った。RCP-S はスラリー状であるためボールミル混合後の広口試薬瓶を混練水で洗浄し供した。以降の実験手順は、前節

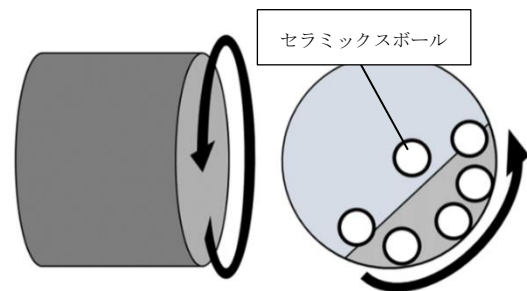


図-2 ボールミル混合の模式図

表-4 ボールミル混合における容器内の配合

RCP/C (mass%)	Components (g)			
	W	sat. Ca(OH) ₂ aq.	RCP	S
20	56.7	45.0	90.0	40.5

表-5 活性化した RCP を添加したモルタルの配合

Symbol	RCP/C (mass%)	Components (g)					
		W	C	RCP	RCP-S	S	Sp
N	-	225.0	-	-	-	1350.0	-
Untreated	20	224.0	450.0	90.0	-	1260.0	-
Treated	-	122.3	-	-	232.2	1219.5	1.0

3.2(3)と同様である。

3.4 活性化処理された廃コンクリート微粉添加モルタルの塩分浸透性の評価

(1) 概要

未処理の RCP およびボールミル混合により活性化処理された RCP を添加したモルタルの塩分浸透試験を実施し、活性化処理による塩分浸透性の差異を検討した。

(2) 実験方法

供試体は圧縮強度試験と同様の配合を用い、型枠はφ50×100mm の円柱型とした。供試体の塩分浸透試験は、JSCE-G572-2013 を参考にし、28 日間の水中養生が終了した供試体の底面以外をエポキシ樹脂(金属・コンクリート用ボンド)で覆い、硬化させたのちに濃度 10mass%の塩化ナトリウム水溶液(市販の塩化ナトリウムを溶解)に投じ、28 日間浸漬させた。その後、供試体を簡易軽量携帯型コンクリートカッターで乾式切断し、断面に 0.1mol/L の硝酸銀溶液(市販の硝酸銀を溶解)を噴霧する硝酸銀噴霧法¹²⁾により塩分浸透深さを測定した。なお、塩分浸透深さは3本ずつ計測し、その平均を測定値とした。

3.5 ボールミル混合後の RCP の形態観察

(1) 概要

ボールミル混合により RCP に生じる変化を確認するため走査型電子顕微鏡による RCP の形態観察を行った。

(2) 試料の調製および観察方法

ボールミル混合後の RCP スラリーを採取したのちに乾燥機を用いて 105℃で乾燥を行ったものを試料として、ボールミル混合後の活性化された RCP の形態観察を行った。また、未処理の RCP の形態観察も行いボールミル

混合による RCP の変化を比較した。なお、観察にはエネルギー分散型 X 線分光装置を備えた走査型電子顕微鏡 (SEM-EDX) を使用し、観察前には導電性を保持させるために Pt+Pd 蒸着を行った。

4. 試験結果および考察

4.1 廃コンクリート微粉の性状

廃コンクリート微粉は加熱すりもみ法により一度硬化したコンクリートから得られているため、セメント硬化体および骨材微粉から構成されている。硬化コンクリートの配合推定法として、グルコン酸ナトリウム溶解処理によって RCP 中のセメント量を求めた結果、セメントが 40.3mass% 含有されていることを確認した。また、XRD の結果を図-3 に示す。結果より炭酸カルシウムおよび水酸化カルシウムの回折線は検出されたが、セメント主要成分である Alite の回折線は検出されなかったため Alite はほとんどが水和した状態にあると考えられた。XRF により測定した主要組成を表-6 に示す。ここで RCP 中の酸化カルシウム分に着目し、窒素雰囲気下での TG-DTA による質量減少量から水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウム量を定量した。その結果より、酸化カルシウムに換算すると水酸化カルシウム由来は 6.44mass%、炭酸カルシウム由来は 17.88mass% であったことから酸化カルシウム分は合計で 24.32mass% と計算された。表-6 の酸化カルシウム総量から差し引くと、炭酸カルシウムおよび水酸化カルシウム以外の酸化カルシウム分、すなわち 26.16mass% は他のセメント水和物や未水和のセメント鉱物分であると推定することができる。

4.2 廃コンクリート微粉を添加したモルタルの圧縮強度増進性状

普通ポルトランドセメントを用いたモルタルに RCP を 0, 10, 30 および 40mass% 添加した場合の材齢による圧縮強度の変化を図-4 に示す。RCP 添加率と圧縮強度増進性状に相関関係はなく、RCP を添加したものは材齢 14 日から 28 日において圧縮強度の増進が鈍化し N の圧縮強度の約 9 割まで低下した。再生骨材製造の際に原料コンクリートから生じる微粉分をコンクリート混和材として使用している既往の研究では、微粉分を添加することによるマイクロフィラー効果でセメント硬化体の緻密化がされ、圧縮強度が増進する¹³⁾と報告がされており、本報とは相違している。この原因については現在調査中ではあるが、後述の塩分浸透性の評価においては RCP の添加により塩分浸透は抑制されている。これらを考え合わせるとセメント硬化体の緻密化はなされ塩分浸透には効果的に作用するが、セメントの水和反応の阻害要因となってしまうことが圧縮強度の低下の原因になっているのではないかと考えている。続いて、図-5 に示し

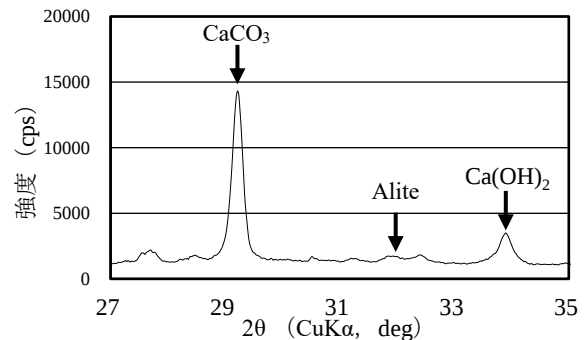


図-3 XRD による含有成分の解析結果

表-6 廃コンクリート微粉の主要組成

Chemical Composition	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Others
Content rate (%)	50.48	17.54	3.96	2.51	25.51

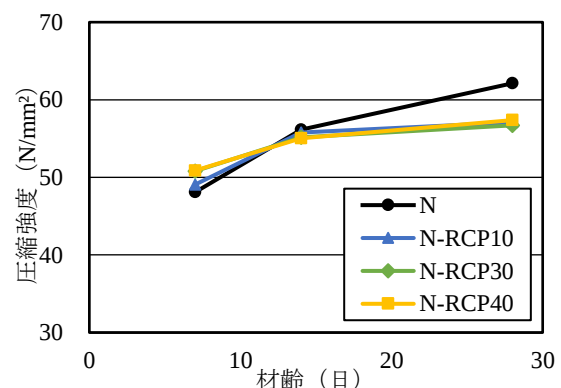


図-4 普通ポルトランドセメントに RCP を添加したモルタルの圧縮強度

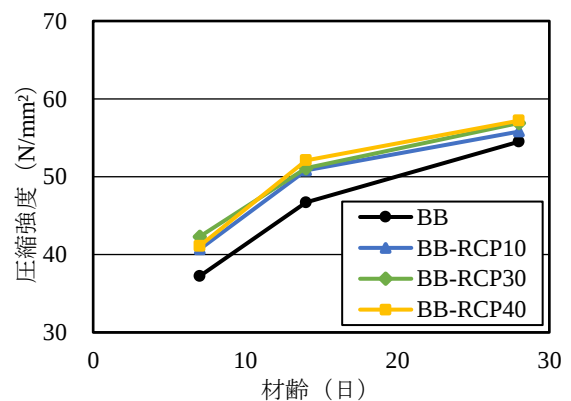


図-5 高炉セメント B 種に RCP を添加したモルタルの圧縮強度

た高炉セメント B 種の場合では RCP の添加により BB と比べていずれの添加率でも材齢 7 日から圧縮強度は増進した。また、材齢 14 日から 28 日においては普通ポルトランドセメントに RCP を添加した場合と同様に圧縮強度の増進が鈍化した材齢 28 日においても BB-RCP40 は BB と比較して約 5% の圧縮強度増進があった。以上の検討から RCP をコンクリート混和材として添加する場合、高炉スラグ微粉末との同時配合により圧縮強度が増進することが判明した。この要因を考察すると、既往研

究では再生骨材製造の際に原料コンクリートから発生する微粉分は高炉スラグセッコウ系結合材におけるアルカリ刺激剤となることが明らかとされている¹⁴⁾。本研究に供した RCP は前述の通り、セメント成分の大部分が水和物に変化しているに加え水酸化カルシウムや未水和セメント鉱物などのアルカリ分を含有する微粉であるため、RCP がアルカリ刺激剤として高炉スラグ微粉末に作用したことが考えられる。

4.3 活性化処理された廃コンクリート微粉添加モルタルの圧縮強度

未処理の RCP および活性化処理された RCP を普通ポルトランドセメントに 20mass% 添加したモルタルの材齢による圧縮強度の変化を図-6 に示す。活性化処理された Treated は Untreated と比較して、材齢 7 日で有意な圧縮強度増進を確認した。この要因については、ボールミル混合時に添加した水酸化カルシウム飽和水溶液および RCP 由来のアルカリ分によって、より高アルカリ雰囲気となったことが普通ポルトランドセメントの水和反応の促進に作用したと考えられる。また、材齢 14 日から 28 日にかけての圧縮強度の変化についても、Untreated と比較して圧縮強度の増進が大きいことから活性化処理により阻害要因の低減となっていると推察される。活性化処理に関する詳細なメカニズムについては、今後、材齢ごとのセメント鉱物の XRD の解析結果を通じて検討を進める予定であるが、現時点においても普通ポルトランドセメント使用時における RCP の活性化処理は一定の意義や効果が見出されるものと考えられる。

4.4 活性化処理された廃コンクリート微粉添加モルタルの塩分浸透性の評価

RCP を普通ポルトランドセメントに 20mass% 添加したモルタルの塩分浸透深さを図-7 に示す。塩分浸透深さは RCP 無添加の N が 9.0mm のところ Untreated および Treated はそれぞれ 7.0mm, 6.8mm であり RCP の添加により塩分浸透が抑制された。前述のとおり、RCP のような微粉分はマイクロファイラー効果を有していることからコンクリート混和材として使用することでセメント硬化体の緻密化に寄与する。そのため、RCP を添加したモルタルでは、セメント硬化体の緻密化がなされ N と比較して塩分浸透が抑制されたと考えられる。

4.5 ボールミル混合後の RCP の形態観察

SEM-EDX により観察した RCP 粒子の画像を図-8 に示す。未処理の RCP は図-8(a), (c)、ボールミル混合で活性化された RCP は図-8(b), (d) である。SEM 観察からは活性化処理の有無で粒径の変化は読み取れず 15~30 μm であったが活性化処理後は RCP の粒子の形状が丸みを帯びた形態に変化した。また図-8(c), (d) から、活性化処理により、RCP 粒子の表面形態も変化しており、

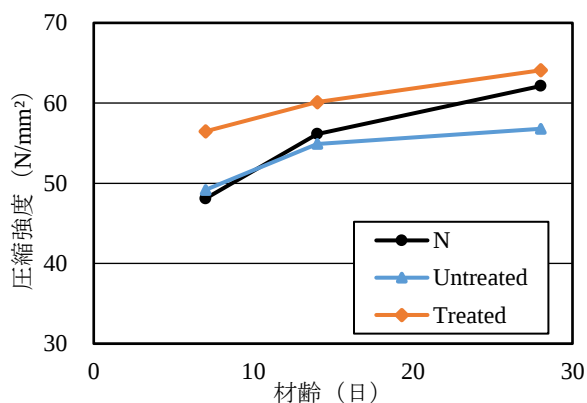


図-6 普通ポルトランドセメントに RCP を添加したモルタルの圧縮強度

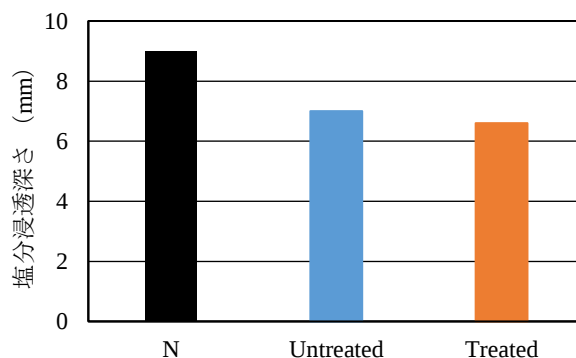


図-7 普通ポルトランドセメントに RCP を添加したモルタルの塩分浸透深さ

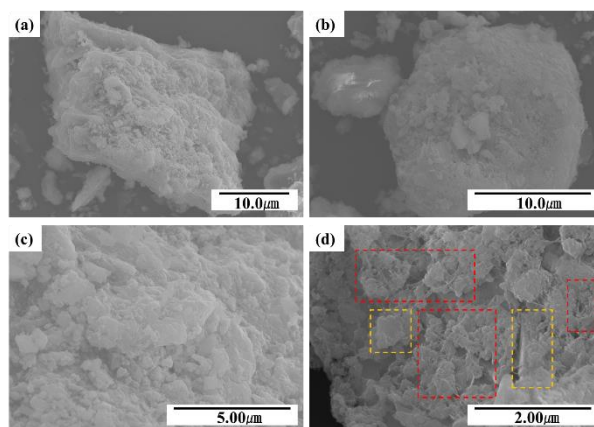


図-8 RCP の粒子の形態写真

- (a) 未処理の RCP
- (b) 活性化処理された RCP
- (c) 未処理の RCP の表面形態
- (d) 活性化処理された RCP の表面形態

未処理の RCP の粒子においては表面全体に微細な炭酸カルシウムが形成されていることを EDX 分析から確認した。そして、活性化処理された RCP では未活性の粒子では確認できなかった六角板状の物質(黄色枠部分)や紐状物(赤色枠部分)が確認された。これらは EDX の分析からそれぞれ水酸化カルシウムや水和物と考えている。ただし、水酸化カルシウムについては、活性化処理時に添

加した水酸化カルシウム飽和水溶液に由来するものなのか、RCP に由来するものなのかは現時点では判断できていない。今後、この考えが正しいか別の分析手段の探索も含め検証していく予定である。

5. まとめ

本研究では、加熱すりもみ法を模擬した装置により作製した廃コンクリート微粉の物性を検討したうえで、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用いたモルタルに添加し圧縮強度試験を実施した。また、ボールミル混合により活性化処理を行った廃コンクリート微粉を添加したモルタルの圧縮強度試験および塩分浸透試験を実施した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 普通ポルトランドセメントを用いたモルタルに RCP を添加した場合には、圧縮強度が低下した。
- 2) 高炉セメント B 種を用いたモルタルに廃コンクリート微粉を添加した場合には、圧縮強度が増進した。
- 3) ボールミル混合により活性化処理した RCP をモルタルに添加することで、普通ポルトランドセメントを用いた場合においても明らかな圧縮強度の上昇効果が見られた。
- 4) RCP を添加したモルタルは、マイクロファイラー効果によりセメント硬化体が緻密化され塩分浸透が抑制された。
- 5) 廃コンクリート微粉は高炉セメント B 種との利用および普通ポルトランドセメント使用時においてもボールミル混合により活性化処理することでコンクリート混和材としての利用が可能であることが示唆された。

本研究に供した RCP は、混練から約 2 年の比較的若材齢のものであり、耐用年数を終えて解体されたコンクリート構造物由来の廃コンクリート微粉とは、コンクリート混和材として使用した際の性状が異なる可能性がある。今後は長期材齢の廃コンクリート微粉などによる検討を進め、より総合的な考察を行っていく計画である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (24K15357, 研究代表者：鶴澤正美) の交付を受けて実施したものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 第五次循環型社会形成推進基本計画 (環境省) : <https://www.env.go.jp/content/000243000.pdf> (閲覧日 : 2024 年 12 月 2 日)
- 2) 平成 30 年度建設副産物実態調査結果 (国土交通省) : <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001334705>.

pdf (閲覧日 : 2024 年 12 月 2 日)

- 3) 渋谷和俊, 小川秀夫, 三本木満, 鈴木健介 : 再生路盤材の需要バランスの予測, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp.131-132, 2008.9
- 4) 小嶋芳行, 安江任, 荒井康夫 : コンクリート廃材から再生セメントの試製, 石膏と石灰, Vol.1993, No.244, pp.153-163, 1993
- 5) 黒田泰弘, 片山行雄 : 廃コンクリート微粉末混合セメントを用いたモルタル・コンクリートの研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.64, No.1, pp.537-544, 2010
- 6) 青木康平, 鶴澤正美 : 高活性化フライアッシュ含有モルタルの圧縮強度特性とその増進メカニズムの解明, 無機マテリアル学会誌, Vol.29, pp.132-139, 2022.5
- 7) 福永晃久, 鶴澤正美, 青木康平, 畑実 : 高活性化下水汚泥焼却灰を用いたモルタルの圧縮強度発現に及ぼす諸条件の影響, 無機マテリアル学会誌, Vol.29, pp.210-216, 2022.7
- 8) 藤原颯, 福永晃久, 鶴澤正美, 井川秀樹 : 活性化した下水汚泥焼却灰のコンクリートへの適用に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, No. 1, pp.106-111, 2023.7
- 9) 青木康平, 鶴澤正美 : 高活性化フライアッシュを用いたモルタルの圧縮強度発現に及ぼす諸条件の影響, 無機マテリアル学会誌, Vol.28, pp.259-264, 2021.9
- 10) 島裕和, 鴻巣一巳, 橋本光一, 古賀康男 : 加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.1093-1098, 2000.6
- 11) 横山滋, 藤本泉, 高野豊 : 硬化コンクリートの配合推定方法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.661-666, 1992.5
- 12) Otsuki et al. : Evaluation of AgNO₃ solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementitious matrix materials, ACI materials journal, No.84, pp.587-592, Nov.1992
- 13) 桜井邦昭, 近松竜一, 入矢桂史郎, 十河茂幸 : 再生微粉の多量混入がコンクリートの諸性質に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.373-378, 2007.7
- 14) 蓮見孝志, 池尾陽作 : コンクリート塊から発生した微粉末を用いた高炉スラグセッコウ系結合材の強度発現におよぼす結合材の配合と養生条件の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.70, No.1, pp.557-563, 2016