

論文 再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンニュートラル・ネガティブコンクリートの基礎検討

松田 信広*1・古川 雄太*2・井出 朋孝*3・清水 啓介*4

要旨：本研究は、再生骨材の製造時に副産される再生微粉および再生微粉スラリーを活用したカーボンニュートラル・ネガティブコンクリートの開発を目的に、再生微粉の CO₂ 固定量と骨材製造時の副産物が高炉スラグ微粉末高含有再生骨材コンクリートの諸性状に与える影響について検討した。その結果、本研究の範囲において、再生微粉の CO₂ 固定量は、強制炭酸化よりも屋外暴露で乾湿繰り返ししたものの方が多く、最大 118kg-CO₂/t の CO₂ 固定量が得られた。カーボンニュートラル・ネガティブコンクリートは所要の強度を満足し、CCU 材料の種類および単位量の最適化によって、更なる CO₂ 排出量の削減が期待できることがわかった。

キーワード：再生骨材, 再生微粉, 再生微粉スラリー, 高炉スラグ微粉末, CCU 材料, CO₂ 排出量

1. はじめに

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、コンクリートおよびその材料中に CO₂ を固定化する技術開発が進められている。再生骨材は、製造および保管時、強制炭酸化によって CO₂ を固定化できる可能性がある。特に、再生骨材 L または M は、骨材に付着および混入するセメントペーストの割合が大きく、CO₂ を固定化できるポテンシャルは大きいと考える。また、骨材製造時に副産される微粉末（以下、再生微粉）は、セメントペーストの割合や比表面積が再生骨材よりも大きいことから、再生骨材よりも多くの CO₂ を固定化できる可能性がある。これらを踏まえると、再生骨材および再生微粉は、CCU（Carbon dioxide Capture and Utilization）材料の一つとしてカーボンニュートラルに大きく貢献できると考える。

一方、出所を特定しない原コンクリートから製造した再生骨材を用いたコンクリートを構造物に使用するためには、アルカリシリカ反応性に対する対策が重要な管理項目の一つとなる。再生骨材コンクリート M のアルカリシリカ反応抑制対策は、JIS A 5022 附属書 C に示され、その一つとして JIS A 6206 に適合する高炉スラグ微粉末を質量比で 50%以上用いて、且つ、アルカリ総量を 4.2kg/m³以下にすることが示されている。このことから、高炉スラグ微粉末を高含有した再生骨材コンクリートは、低炭素性および資源循環性を確保しつつ、アルカリシリカ反応を抑制する対策をとることが可能であるといえる。

このような背景の中、筆者らはセメントの 70%を高炉スラグ微粉末で置き換えた高炉セメント C 種相当の低炭素型コンクリートに再生骨材を使用した「高炉スラグ微粉末高含有再生骨材コンクリート」の実用化を進めてき

た。そして、一連の研究成果について報告^{1) 2)}した。今後は、更なる CO₂ 排出量の削減を目指し、カーボンニュートラル・カーボンネガティブな状態にできるコンクリート（以下、CNC）に関する検討を進める必要がある。

そこで本研究は、高炉スラグ微粉末および再生骨材の使用のみならず、骨材製造時に副産される再生微粉ならびに湿式磨砕処理で発生する再生微粉がスラリー状になったもの（以下、再生微粉スラリー）を活用した CNC の開発を目的に、再生微粉の CO₂ 固定量と骨材製造時の副産物が高炉スラグ微粉末高含有再生骨材コンクリートの諸性状に与える影響について検討した。

2. 再生微粉および再生微粉スラリー

2.1 製造方法

図-1 に筆者らが関わる研究会^{1) 2)}で開発した高炉スラグ微粉末高含有再生骨材コンクリートに使用する再生骨材 L および M の製造フローを示す。再生骨材ならびに再生骨材製造時に副産される再生微粉および再生微粉スラリーは、全て同一の工場で製造、排出されるものであり、これらの材料を活用することでゼロエミッションおよびカーボンニュートラル・カーボンネガティブが達成できると考えた。

再生微粉は、再生骨材 L の製造時に発生する粉体を集塵機で回収し、後述する炭酸化の処理によって CO₂ を固定化できることから、CCU 材料として使用した。本研究で使用した再生微粉の原コンクリートは、1963 年に竣工した建築構造物であり、未水和セメントは存在しないと仮定してセメントの外割で使用した。再生微粉スラリーは、再生骨材 M の製造時に発生する再生微粉スラリーを

*1 (株) 東京テクノ 生産技術統括本部長 博士 (工学) (正会員)

*2 東急建設 (株) 技術研究所 建築基盤技術研究部 建築材料グループ (正会員)

*3 (株) 長谷工コーポレーション 技術推進部門技術研究所 建築材料研究室 (正会員)

*4 矢作建設工業 (株) 建築事業本部施工本部 技術工務部技術グループ

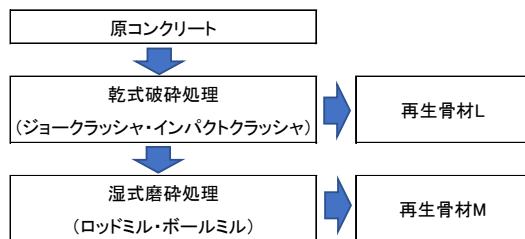


図-1 再生骨材 L および M の製造フロー

回収し、練混ぜ水として使用した。既往の検討³⁾では、再生微粉スラリーは高炉スラグ微粉末の反応活性を高め、再生微粉スラリー中の固形分は、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性に寄与するアルカリ刺激材としてセメントの内割で使用した。

2.2 再生微粉の CO₂ 固定量

再生微粉は CCU 材料として使用することから、再生微粉が固定化できる CO₂ 量を確認する必要がある。そこで、炭酸化的方法および条件が再生微粉の CO₂ 固定量に与える影響について確認した。表-1 に炭酸化的方法および条件を示す。屋外暴露では、1 日 1 回散水して乾湿を繰り返したもの（以下、散水）、雨が掛からないように屋根のある屋外で放置したもの（以下、放置）、CO₂ 固定量の増加を期待した水酸化カルシウム溶液で 1 日 1 回散水して乾湿を繰り返したもの（以下、CH 水）と比較した。散水は上水道水を使用し、水酸化カルシウム溶液は生コン工場で発生する回収水の上澄み水を使用した。また、屋外暴露では炭酸化の期間を要すると考え、炭酸化期間は 7 および 28 日とした。強制炭酸化では、促進中性化装置にて CO₂ 濃度 5%、温度 20℃ で一定とし、湿度は 40、60、90% と変化させたもので比較した。炭酸化期間は 3 および 7 日とした。CO₂ 含有量は、示差熱重量分析装置（以下、TG-DTA）を使用し、550～850℃ の脱炭酸反応における質量減少より測定した。測定中は窒素ガスを 120～150mL/min で流入した。昇温速度は 10℃/min とし 1000℃ まで計測した。CO₂ 固定量は、炭酸化前後の CO₂ 含有量の差分により算出した。

図-2 に屋外暴露で炭酸化した再生微粉の CO₂ 固定量を示す。散水と CH 水は同程度の CO₂ 固定量であり、放置よりも固定量が大きくなった。水分の供給や乾湿の繰り返しによって CO₂ 固定量は増加することがわかった。また、いずれの条件においても炭酸化期間の経過とともに CO₂ 固定量は増加した。しかし、CH 水の影響は見られず、この要因についてはわかっていない。

図-3 に強制炭酸化した再生微粉の CO₂ 固定量を示す。湿度が CO₂ 固定量に与える影響は僅かであった。また、炭酸化期間についても 3 日と 7 日では大きな差はみられ

表-1 炭酸化的方法および条件

炭酸化の方法	炭酸化の条件	炭酸化期間（日）		
		3	7	28
屋外暴露	散水	—	○	○
	放置	—	○	○
	CH 水	—	○	○
強制炭酸化	CO ₂ 濃度 5% 湿度 40%	○	○	—
	CO ₂ 濃度 5% 湿度 60%	○	○	—
	CO ₂ 濃度 5% 湿度 90%	○	○	—

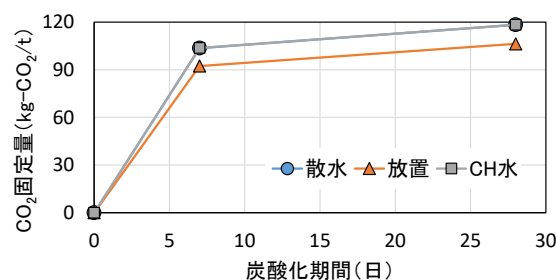


図-2 屋外暴露で炭酸化した再生微粉の CO₂ 固定量

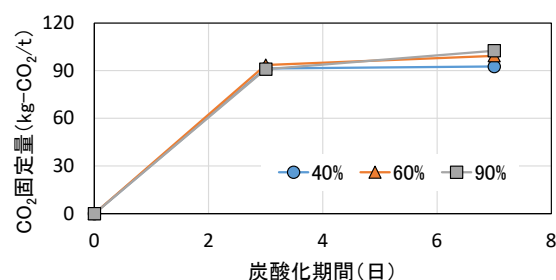


図-3 強制炭酸化した再生微粉の CO₂ 固定量

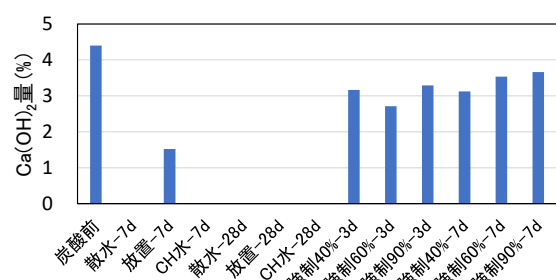


図-4 再生微粉の Ca(OH)₂ 量

なかった。これは比表面積が大きいことから 3 日である程度炭酸化が進行したためと考えられる。一方、屋外暴露と強制炭酸化を比較すると屋外暴露の方が CO₂ 固定量は大きくなった。そこで、それぞれの Ca(OH)₂ 量を比較した。Ca(OH)₂ の定量方法は、TG-DTA を用いて 400～550℃ における質量減少量を Ca(OH)₂ の脱水によるものと仮定し算出した。図-4 に再生微粉の Ca(OH)₂ 量を示す。炭酸化前の Ca(OH)₂ 量が最も多く、屋外暴露による水分の供給や乾湿の繰り返しによって Ca(OH)₂ が消費していることがわかる。一方、強制炭酸化では Ca(OH)₂ は存在しており、C-S-H 等の炭酸化が進行したと考えられる。この傾向は既往の研究⁴⁾でもみられており、水分の

ある環境では C-S-H の炭酸化よりも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の炭酸化が進行し、強制炭酸化では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を残して C-S-H の炭酸化が進行したと考える。つまり、炭酸化の効率や簡素化を踏まえると $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を炭酸化させることが有効であると考えられ、本研究では屋外暴露による CO_2 固定量の最大値 $118\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{t}$ を採用した。

3. モルタル実験

3.1 概要

骨材製造時の副産物が高炉スラグ微粉末高含有再生骨材コンクリートに及ぼす影響を確認するために、モルタル実験を行った。表-2 に要因と水準を示す。高炉スラグ微粉末（以下、BF）ならびに CCU 材料による各性状への影響を確認するために BF の使用率は、70%、80%、90%および95%の4水準とした。CCU 材料は、再生微粉（以下、RP）、軽質炭酸カルシウム（以下、EC）およびスラッジ微粉末（以下、PA）の3水準とし、単位量を $0\text{kg}/\text{m}^3$ （CCU 材料未使用）、 $50\text{kg}/\text{m}^3$ および $100\text{kg}/\text{m}^3$ の3水準で比較検討した。表-3 に使用材料を示す。EC および PA は、コンクリート二次製品の製造工場で発生するスラッジ水を起源とした材料⁵⁾である。その製造方法は、スラッジ水をフィルタープレスで液体と固形分に分離し、固形分を乾燥および粉砕・分級したものが PA、液体（高アルカリ廃水）にボイラー排ガス中の CO_2 を固定化させて結晶化して製造したものが EC である。なお、PA は炭酸化処理による CO_2 を固定化していないが、スラッジ水中の固形分には Ca や水合物等が存在し、 CO_2 を固定化できると考えられることから、CCU 材料として使用した。

写真-1 に CCU 材料の SEM 画像を示す。何れも BET 比表面積が大きい特徴を有し、特に RP、PA の値が大きい。SEM 画像からは、EC が数 μm の粒子の集合体のような形状を示す一方、RP および PA は一つの粒子は EC に比べれば大きい、多孔質または空隙が確認でき、この粒子構造が BET 比表面積の増大に繋がったと考える。

表-4 にモルタル実験の配（調）合を示す。水結合材比は 50%、単位水量は $280\text{kg}/\text{m}^3$ と一定にした。また、空気量の影響を可能な限り排除するため、消泡剤を一定量添加し、空気量を限りなく小さくした。ただし、 $-0.5\sim 3.2\%$ の空気量（質量法による実測値）であったことから、圧縮強度は空気量 1% に対して 5% 変動すると仮定し、空気量 0% として補正した値を用いた。試験項目は、フレッシュ性状としてミニスランプフロー（JISA 1171）および空気量（JISA 1116）試験を実施した。圧縮強度（JISA 1108）は、 20°C 封緘養生（材齢 2、4、7 日）および標準養生（材齢 7、28、91 日）とした。

3.2 フレッシュ性状

図-5 に $\text{RP}50\text{kg}/\text{m}^3$ における各 BF 使用率のミニスラ

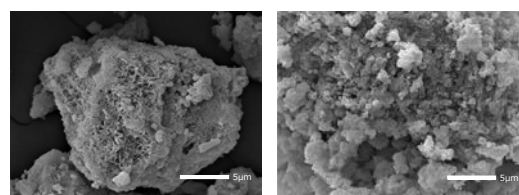
表-2 要因と水準

要因	水準
BF 使用率 (%)	70, 80, 90, 95
CCU 材料の種類	RP, EC ^{*1} , PA ^{*1}
CCU 材料の単位量 (kg/m^3)	0, 50, 100

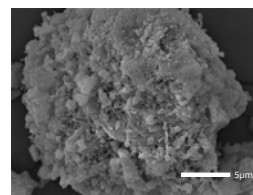
*1 スラッジ水を起源とした材料⁵⁾

表-3 使用材料

名称	記号	物性など
普通ポルトランドセメント	C	密度： $3.15\text{g}/\text{cm}^3$
高炉スラグ微粉末 4000	BF	密度： $2.89\text{g}/\text{cm}^3$
再生骨材微粉	RP	密度： $2.31\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿分：7.0%
軽質炭酸カルシウム	EC	密度： $2.68\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿分：0.6%
スラッジ微粉末	PA	密度： $2.21\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿分：8.8%
掛川産山砂	KM	表乾密度： $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ 吸水率：1.63%、F.M.：2.60
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系化合物
消泡剤	DF	ノニオン系界面活性剤



RP (BET 比表面積： $39.54\text{m}^2/\text{g}$) EC (BET 比表面積： $1.58\text{m}^2/\text{g}$)



PA (BET 比表面積： $70.44\text{m}^2/\text{g}$)

写真-1 CCU 材料の SEM 画像（5000 倍）

表-4 モルタル実験の配（調）合

No.	BF 使用率 (%)	単位量(kg/m³)							混和剤 (P*1×%)	
		W	C	BF	CCU 材料			KM	SP	DF
					RP	EC	PA			
1	70	280	168	392				1345	0.5	0.005
2	80	280	112	448	—	—	—	1341	0.5	0.005
3	90	280	56	504	—	—	—	1336	0.5	0.005
4	95	280	28	532	—	—	—	1334	0.5	0.005
5	80	280	112	448	50	—	—	1284	0.7	0.005
6	90	280	56	504	50	—	—	1280	0.7	0.005
7	90	280	56	504	100	—	—	1223	0.9	0.005
8	95	280	28	532	50	—	—	1278	0.7	0.005
9	90	280	56	504	—	50	—	1287	0.7	0.005
10	90	280	56	504	—	100	—	1238	0.9	0.005
11	90	280	56	504	—	—	50	1277	0.7	0.005
12	90	280	56	504	—	—	100	1218	0.9	0.005

*1 P は C・BF・RP・EC・PA の合計値を示す

ンプフローおよび SP の使用量を示す。ミニスランプフローは、BF 使用率が大きくなると、僅かに低下する傾向であった。これは、BF の使用率の増加に伴い粘性が大きくなったことが影響したと考えられる。

図-6 に BF 使用率 90% における CCU 材料毎のミニスランプフローを示す。RP および PA は、CCU 材料未使用のものと同程度の流動性を確保するための SP の使用量は増加した。これは、RP および PA の BET 比表面積が大きいことから、混和剤の吸着量が大きくなったことや

RP および PA の粒子形状が歪な形状であったことが影響していると考えられる。また、単位量 100kg/m^3 では EC が最も流動性が高く、次いで RP、PA の順であり、単位量 50kg/m^3 に比べて、CCU 材料間の差が大きくなる傾向が認められた。これは、BET 比表面積が流動性に及ぼす影響が顕著に現れたと考えられる。

3.3 圧縮強度

3.3.1 20℃封かん養生

ここでは、20℃封かん養生環境下におけるせき板の取外し目安となる 5N/mm^2 、湿潤養生の打ち切りの目安である 10N/mm^2 の強度発現について検討を行った。

(1) BF 使用率の影響

図-7 に CCU 材料未使用における圧縮強度を示す。いずれの BF 使用率でも、材齢 2 日時点で 5N/mm^2 の強度発現が認められた。 10N/mm^2 の強度発現については、BF70%、BF80%および BF90%で材齢 4 日時点、BF95%で材齢 7 日時点で確認された。最終的な強度レベルは異なるが、BF 使用率 70%と比較すると、BF 使用率の増加に伴い材齢 2 日以降の強度発現は遅くなる傾向であった。

(2) CCU 材料の影響

図-8 に BF90%における圧縮強度（CCU 材料の比較）を示す。CCU 材料なしと各 CCU 材料の単位量 50kg/m^3 を比較すると、圧縮強度に大きな差は認められなかった。一方、単位量 100kg/m^3 では、CCU 材料なしまたは単位量 50kg/m^3 に比べて各材齢で強度が大きいことが認められた。このことから、今回使用した CCU 材料は、初期材齢の強度増進に寄与すると考えられるが、それには一定の単位量が必要であり、本実験では 100kg/m^3 でその傾向が現れたことが確認された。

3.3.2 標準水中養生

ここでは、標準水中養生環境下における材齢 7 日以降の強度発現として、28 日強度、その後の長期的（材齢 91 日）な強度増進について検討を行った。

(1) BF 使用率の影響

図-9 に CCU 材料未使用における圧縮強度を示す。圧縮強度は、既往の研究結果⁹⁾と同様に BF 使用率の増加に伴う圧縮強度の低下が顕著な結果であった。また、BF90%および 95%は材齢 7 日以降の強度増進が小さく、これは、アルカリ量が少なくなったことで BF の潜在水硬性が十分に発揮されなかったと考えられる。

(2) CCU 材料の影響

図-10 に BF90%における圧縮強度（CCU 材料の比較）を示す。20℃封かん養生環境下の結果とは異なり、CCU 材料の単位量が 50kg/m^3 であっても、CCU 材料未使用のモルタルに比べて、いずれの CCU 材料でも材齢 7 日から高い強度を示し、材齢が進むにつれてその差は大きくなる傾向を示した。これは、標準養生によって潜在水硬

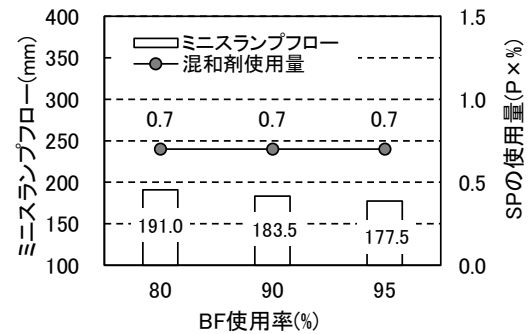


図-5 RP50kg/m³における各 BF 使用率のミニスランブフローおよび SP の使用量

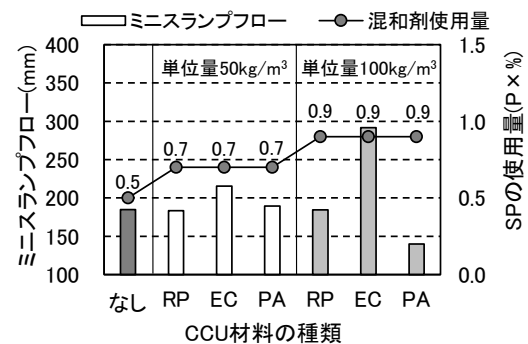


図-6 CCU 材料毎のミニスランブフロー

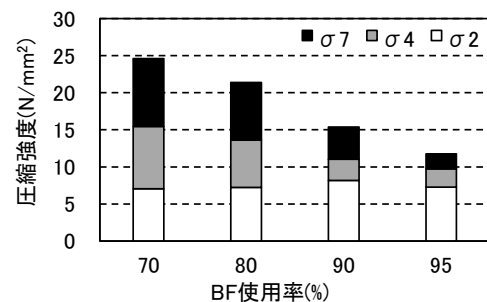


図-7 圧縮強度（封かん-CCU 材料未使用）

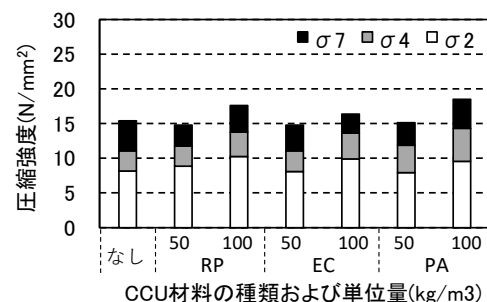


図-8 圧縮強度（封かん-CCU 材料の比較、BF90%）

性に必要な水分が供給されたためと考えられ、加えて CCU 材料が潜在水硬性を促進するアルカリ刺激材として影響したと考えられる。また、単位量 100kg/m^3 ではその傾向がより顕著であり、CCU 材料のアルカリ刺激材としての寄与または CCU 材料による粉体の充填効果等が影響したと考えられる。なお、今回の検討では PA、RP、EC の順に圧縮強度は大きくなっており、pH などが影響

したと推測されるが、そのメカニズムの解明については今後の検討課題である。

4. CNC の開発

4.1 概要

ここまでの結果を受けてカーボンニュートラル・カーボンネガティブな状態にできる配（調）合を設計し、CNC の諸性状を確認した。現段階では、CNC の用途は無筋コンクリートを想定し、耐久性は考慮しないこととした。

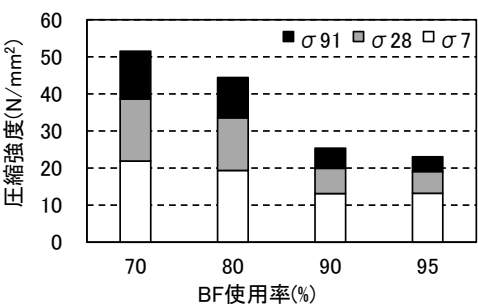
表－5 に使用材料を示す。アルカリ刺激剤として普通ポルトランドセメント（以下、C）、酸化カルシウムを主成分とした石灰系の膨張材（以下、EX）、再生微粉スラリー（以下、RS）を使用した。なお、RS の固形分は結合材に、その他は練混ぜ水の一部として使用した。そのため、RS は所定の各単位量を満足するように、濃度を調整した 2 種類の RS を使用した。BF の使用率は 90% とし、CCU 材料は RP と CO₂ 固定量の多い EC を使用した。骨材には再生骨材 L を使用した。これら材料から表－6 に示すインベントリデータを用いて CNC の配（調）合を設計した。表－7 および図－11 に CNC の配（調）合および CO₂ 排出量を示す。なお、輸送およびコンクリート製造に関わる CO₂ 排出量は考慮せずに算出した。No.1～4 をカーボンニュートラル相当、No.5 をカーボンネガティブ相当として設計した。フレッシュ性状の目標値は、No.1～3・5 はスランプ 21±2cm、No.4 はスランプフロー 60±10cm とし、空気量は 1.5±1.5% となるように消泡剤の添加量は配（調）合ごとに変化させた。圧縮強度（JIS A 1108）は標準養生（材齢 7、28、91 日）とした。

4.2 フレッシュ性状

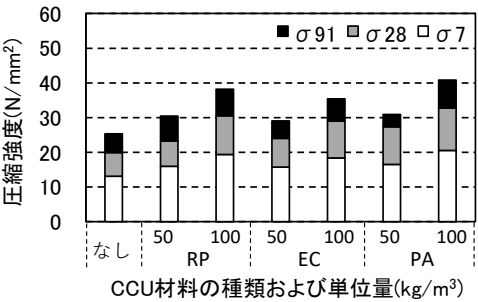
表－8 にフレッシュ試験結果を示す。各コンクリートの使用材料や単位量などが大きく異なるため、混和剤の使用量に大きな差はあるが、適切な混和剤の使用量とすることで、所要の性状は満足できると考えられる。一方、No.1 と No.3 は、スランプおよびスランプフローは同程度であるのに対し、空気量は 1% 程度異なる結果であった。これは、消泡剤の添加量は No.1 の方が多いことから、CCU 材料の単位量や形状の違いが影響したと考えられる。なお、今回の実験ではコンクリート中の総粉体量（P）が多く、全体的に高粘性なコンクリートであった。

4.3 圧縮強度

図－12 に圧縮強度を示す。No.3 以外は材齢 28 日で 24N/mm² を超える強度を有しており、所要の強度を満足したといえる。また、アルカリ刺激材として C および EX を結合材の 5% ずつ使用（BF90%）した No.4 は全ての材齢で他のコンクリートよりも大きい圧縮強度を示した。今回の検討範囲では、EX が最も BF の潜在水硬性に寄与するアルカリ刺激材であったと考えられる。一方、結合



図－9 圧縮強度（標準－CCU 材料未使用）



図－10 圧縮強度（標準－CCU 材料の比較、BF90%）

表－5 使用材料

名称	記号	物性など
普通ポルトランドセメント	C	密度：3.15g/cm ³
膨張材	EX	密度：3.16g/cm ³
再生微粉スラリー	RS	濃度 10.2%：比重 1.06g/cm ³ 濃度 18.7%：比重 1.12g/cm ³
高炉スラグ微粉末 4000	BF	密度：2.89g/cm ³
再生微粉	RP	密度：2.31g/cm ³ ，湿分：7.0%
軽質炭酸カルシウム	EC	密度：2.68g/cm ³ ，湿分：0.6%
再生細骨材 L	RLS	表乾密度：2.22g/cm ³ 吸水率：12.9%
再生粗骨材 L	RLG	表乾密度：2.42g/cm ³ 吸水率：5.98%
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系化合物（高炉スラグ高含有用）

表－6 インベントリデータ

材料名	記号	CO ₂ 排出量 原単位 (kg-CO ₂ /kg)	CO ₂ 固定量 原単位 (kg-CO ₂ /kg)	参照 文献等
普通ポルトランドセメント	C	0.807	—	文献 ^①
膨張材 ^{*1}	EX	0.807	—	文献 ^①
再生微粉スラリー	RS	0.009 ^{*2}	—	文献 ^④
高炉スラグ微粉末	BF	0.040	—	文献 ^①
再生微粉	RP	0.002 ^{*3}	0.118	図－2
軽質炭酸カルシウム	EC	0.050	0.440	文献 ^⑤
再生細骨材 L	RLS	0.002	0.042	文献 ^{④, ⑦}
再生粗骨材 L	RLG	0.002	0.012	文献 ^{④, ⑦}
混和剤（ポリカル系）	SP	0.225	—	文献 ^⑧

*1 普通ポルトランドセメントと同等の CO₂ 排出量と仮定した

*2 再生骨材 M の CO₂ 排出量原単位を採用

*3 再生骨材 L の CO₂ 排出量原単位を採用

材の割合が C7.5%、RS2.5%（固形分：9kg/m³）で CCU 材料に RP（単位量 45kg/m³）を用いた No.3 は、材齢 91 日までの範囲において全体的に小さい圧縮強度を示した。また、No.2～No.5（RP 使用）は No.1（EC 使用）に比べて材齢 28 日以降の強度増進が大きい傾向（傾きが大き

表-7 CNC の配 (調) 合

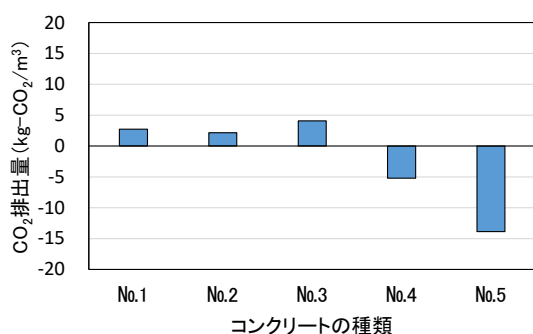
No.	W/B ^{*1} (%)	W/P (%)	単位量(kg/m ³)									
			W	C	EX	RS ^{*2}	BF	EC	RP	RLS	RLG	SP ^{*3}
1	50	45.9	170	34	—	—	306	30	—	686	920	0.90
2		34.3	170	34	—	—	306	—	155	562	920	1.35
3		44.1	170	26	—	9 ^{*4}	306	—	45	662	920	1.20
4		27.2	170	17	17	—	306	—	285	436	920	3.00
5		31.9	170	17	—	17 ^{*5}	306	—	200	531	920	2.50

*1 B は C・EX・RS (固形分)・BF

*2 再生微粉スラリー中の固形分量を示す

*3 P×%とし、P は C・EX・RS (固形分)・BF・EC・RP

*4 濃度 10.2% *5 濃度 18.7%

図-11 CNC の CO₂ 排出量

い) であるが、これは CCU 材料の単位量が No.1 に比べて No.2~5 が多いこと、また、モルタル実験では EC よりも RP の方が高い圧縮強度を示したことから、CCU 材料の種類および単位量が影響したと考えられる。つまり、CCU 材料はその種類および単位量によって強度に寄与する程度が異なるため、これらを配 (調) 合設計の段階で考慮することで、同一強度を得るために必要な C または BF の使用量を低減できる可能性があり、更なる CO₂ 排出量の削減が期待できる。

5. まとめ

本研究の範囲において以下の知見を得た。

- (1) 再生微粉の CO₂ 固定量は、強制炭酸化よりも屋外暴露で乾湿繰り返したものの方が多く、最大 118kg-CO₂/t の CO₂ 固定量が得られた。
- (2) CCU 材料の BET 比表面積は、モルタルの流動性に及ぼす影響が大きい。
- (3) モルタルの圧縮強度は、CCU 材料のアルカリ刺激材としての寄与または CCU 材料による粉体の充填効果等が影響したと考えられる。
- (4) CNC は、一部を除き所要の性状を満足した。CCU 材料はその種類および単位量によって強度に寄与する程度が異なり、これらを適切に考慮することで更なる CO₂ 排出量の削減が期待できる。

謝辞

本研究は「再生骨材を用いた CELBIC の実用化に関する研究会」で実施したものです。関係各位に感謝します。

表-8 フレッシュ試験結果

No.	スランブ (cm)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
1	21.0	42.5	2.5	22
2	16.5	26.5	2.3	23
3	21.0	39.0	1.3	24
4	—	68.5	1.5	27
5	22.5	46.5	1.5	24

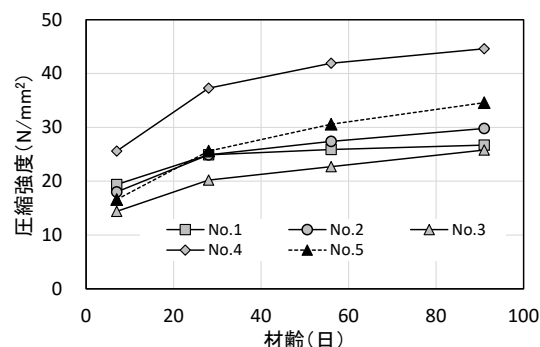


図-12 圧縮強度

参考文献

- 1) 高橋祐一, 新田稔, 鈴木好幸, 松田信広: 高炉スラグ微粉末を高含有した再生骨材コンクリートの実用化に向けた基礎検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, pp.934-939, 2023.7
- 2) 高橋祐一, 新田稔, 鈴木好幸, 松田信広: 高炉スラグ微粉末を高含有した骨材の組合せが異なる再生骨材コンクリート M の実用化に向けた検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1099-1104, 2024.6
- 3) 松田信広, 鈴木澄江, 条内完太: 再生微粉スラリーを混合したコンクリートの物性に関する基礎検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), pp.639-640, 2023.9
- 4) 松田信広, 伊代田岳史: 再生骨材コンクリートによる CO₂削減効果の可能性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1093-1098, 2024.6
- 5) 佐々木猛, 八木利之: コンクリートスラッグを用いた炭酸塩鉱物化およびその利活用〜エコタンカル®、PAdeCS®〜, Review of Asian and Pacific Studies Special Issue, pp.49-59, 2022.12
- 6) 江口康平, 加藤佳孝, 池添弘規, 伊東篤史: 高炉スラグ微粉末で高置換したコンクリートの物理的特性および物質移動抵抗性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.177-182, 2018.7
- 7) 古川雄太他: 再生骨材の実製造プロセスにおける CO₂固定量に関する研究 その2 CO₂固定量の結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.363-364, 2024.8
- 8) 日本コンクリート工学会: セメント・コンクリートの環境影響評価に関する研究委員会報告書, 2024.9