

報告 戻りコンクリート由来の粒状化再生骨材の品質に関する全国共通試験結果

白岩 誠史*1・小山 明男*2・船尾 孝好*3・土井 雅裕*4

要旨:「粒状化再生骨材」は、残コンクリート・戻りコンクリートに高分子系または吸水材系の粒状化材料を投入して粒状化し、硬化させたコンクリート用骨材である。これらの粒状化再生骨材の JIS 化を目指し、全国の生コンクリート工場 42 工場において、共通試験を実施した。その結果、原コンクリートおよび粒状化材料の種類によらず、材齢 3 日以上であれば吸水率や微粒分量の値が安定し、吸水率および微粒分量は再生骨材に相当の規格をほぼ満足することが確認できた。また、普通骨材と置換して試験練りしたコンクリートは、置換率が粒状化再生細骨材 30% まで、粒状再生粗骨材 100% まで圧縮強度はほぼ低下しなかった。

キーワード: 戻りコンクリート, 粒状化再生骨材, 粒状化材料, 原コンクリート, 置換率, SDGs

1. はじめに

コンクリート打設現場で余ってしまった残コンクリート（以下、残コン）、現場で打設されずに生コンクリート工場（以下、生コン工場）に戻ってくる戻りコンクリート（以下、戻りコン）は生コンクリート（以下、生コン）出荷数量の 3～5% 存在する。一部の生コン工場では自ら再生砕石としてリサイクルしているが、そのほとんどは固めて小割してコンクリート塊とするか洗浄して回収骨材とスラッジケーキに分離してリサイクル工場へ処理委託している。その戻りコンの廃棄量は、日本全体で年間約 3 百万 m³ にもなり、生コン業界ばかりでなく、建設業界全体の環境負荷や資源循環を考えるうえで、大きな課題となっている。

2020 年 8 月に設立された生コン・残コンソリューション技術研究会（以下、RRCS 研究会）では、これらの課題に積極的に取り組むために、戻りコンの別用途への使用および制度化を検討する“リロケート分科会”，戻りコンをコンクリートへリサイクルする方法を検討する“リサイクル分科会”，建設現場における残コンの発生量を低減する方法を検討する“オンサイト分科会”の 3 分科会を 2021 年 7 月に立ち上げ、活動を継続している¹⁾。また、大阪・関西万博においては、RRCS 研究会の会員である大阪兵庫生コンクリート工業組合と工事を受注した建設会社を中心となり、圧送業界や混和材メーカー、システム会社、型枠リース会社等も協力して、万博会場建設中の残コンをゼロにしようと活動している²⁾。

これらの活動の中で、リサイクル分科会においては、SDGs の観点から、生コン工場における戻りコンの有効利用技術として、生コンの“粒状化技術”を推進してい

る³⁾。粒状化技術とは、写真-1 に示すように、フレッシュな状態の生コンに、吸水作用のある高分子系の薬剤や紙紛等（以下、“粒状化材料”）を混ぜ込むことにより、生コンの流動性を著しく低下させ、砂利状にする技術である。粒状化技術は、(株)長岡生コンクリートらによって提唱された IWA システム（IWA: Improved Water Absorption）⁴⁾および宮松エスオーシー（株）らによる団粒化処理技術⁵⁾等を含む技術の総称であると考えている。

本報告では、粒状化技術によって製造された粒状化再生骨材を使用したコンクリートの品質を把握するために全国の生コンクリート 42 工場において実施した粒状化再生骨材に関する全国生コンクリート工場共通試験（以下、全国共通試験）の結果について報告する。

2. 粒状化再生骨材の定義

2.1 粒状化再生骨材の定義

“再生骨材”は、構造物の解体時および生コン工場の戻りコンから発生するコンクリート塊から製造され、JIS A 5021～5023 において規定されている。これらの JIS に規定されている再生骨材は、硬化不十分なコンクリートの混入を防ぐために、“運搬車から排出後 1～3 日で砂利



写真-1 粒状化時および硬化後の状況

*1 (株)安藤・間 技術研究所 脱炭素技術開発部 工博(正会員)

*2 明治大学 理工学部 建築学科 教授 工博(正会員)

*3 大阪兵庫生コンクリート工業組合(正会員)

*4 (一社)生コン・残コンソリューション技術研究会 事務局

状に砕いたものは除く”さらに“原コンクリートに対し、破砕などの処理を行って製造した骨材”と記載されている。そのため、本報告で対象とする粒状化再生骨材は、材齢 1 日以内において、破砕することなく、生コンを直接骨材状(粒状)にし、その後硬化させて製造するため、現在の再生骨材の規格に合致しない。

今後、粒状化技術が社会に広まることで、粒状化再生骨材の名称や規格化、定義が議論されていくと考えているが、本報告では、“粒状化再生骨材は、材齢 1 日以内のフレッシュ状態の生コンに、粒状化材料等を添加し攪拌することで、生コンの流動性が低下し、破砕することなく粒状にした生コン由来の骨材”と定義する。粒状化再生骨材の原コンクリートとなる生コンは、JISA 5308 “レディーミクストコンクリート” 認証工場からほとんどが出荷されるため、原材料のトレーサビリティが確保され、解体構造物由来の再生骨材に比べ、アルカリシリカ反応や塩化物対策の面で優位性があると考えられる。

2.2 粒状化材料の定義

粒状化材料は、現在、様々な商品が市場にあるが、コンクリート業界における戻りコンの低減、資源循環への取り組みが活発化してきており、新製品が更に増加する傾向にある。本報告では、“粒状化材料は、生コンに添加して数分間練り混ぜることで、生コンの流動性を著しく低下させ、粒状にする材料”と定義する。現在、既に市販されている粒状化材料を表-1 のように分類した。多種多様な製品があり、合理的な分類については、今後も議論が必要と考える。本報告では、高分子の吸水作用を利用する粉体状の製品と液体状の製品、破断およびすり潰された繊維の隙間に水を吸水する綿状の製品の 3 種類に分類した。

3. 粒状化再生骨材に関する全国共通試験

3.1 参加工場の内訳

表-2 に粒状化再生骨材に関する全国共通試験に参加を表明している 55 工場および試験が完了し本報告に結果を使用している 42 工場の都道府県ごとの内訳を示す。生コンクリート協同組合加盟工場や非加盟工場、工業組合や協同組合単位での参加等、様々な形での参加となっているが、本報告では 1 参加団体を 1 工場と呼ぶこととする。生コン工場は、日本全国に点在し、その地域で入手可能な山砂や川砂、砕石や川砂利等、様々な自然由来の材料から製造される。参加工場のない都道府県も若干あるが、様々な地域の生コン工場が参加している。

表-1 粒状化材料の分類

No.	種別	形状	作用効果
1	吸水性高分子	粉体状	高分子が水を吸水
2	吸水性高分子	液体状	高分子が水を吸水
3	セルローズ繊維	綿状	綿状の繊維の隙間に水を吸水

3.2 全国共通試験の目的

粒状化再生骨材は、過去の研究結果等⁴⁾⁶⁾⁷⁾から、再生骨材 L 相当の品質を確保していると予想される。そのため、日本全国の生コン工場において、粒状化再生骨材を製造し、その物性値や、粒状化再生骨材を使用した再生骨材コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度を日本全国の材料で幅広く確認することを目的とした。今回の全国共通試験の結果は、さらに詳細な品質確認試験を計画する基礎になると考えている。

3.3 試験条件および試験項目

試験を実施するにあたり、各生コン工場の試験条件として表-3 に示す試験条件を聞き取りした。また、粒状化再生骨材の物性値に関する試験項目は表-4 に示す通りとした。粒状化材料については、表-5 に示すように 4 製品を選定した。

表-2 全国試験参加工場(団体)の都道府県内訳

地域	都道府県	全国共通試験		地域	都道府県	全国共通試験	
		参加表明	試験完了			参加表明	試験完了
北海道	北海道	1	0	近畿	滋賀	1	1
	宮城	3	3		京都	1	1
東北	山形	1	1	奈良	1	0	
	福島	2	2	大阪	5	5	
関東	茨城	1	0	兵庫	1	1	
	群馬	1	1	和歌山	3	3	
	埼玉	2	1	中国	鳥取	1	0
	千葉	1	1	岡山	1	0	
	東京	3	2	香川	2	0	
	神奈川	1	1	愛媛	2	2	
甲信越	新潟	1	1	四国	徳島	1	1
	長野	2	2	高知	1	1	
北陸	富山	2	1	九州	福岡	2	1
	石川	1	1	宮崎	2	2	
静岡	福井	1	1	鹿児島	1	1	
	静岡	1	0	沖縄	沖縄	1	1
東海	愛知	1	0	合計	55	42	
	岐阜	3	3				
	三重	1	1				

表-3 試験条件

No.	試験条件
1	工場名、住所
2	原コンクリートの配合計算書
3	粒状再生骨材製造日、物性試験時の材齢
4	粒状化材料の種類 (粒状化材料A、粒状化材料B、粒状化材料C、粒状化材料D、使用しない)
5	粒状化材料を攪拌する方法 (人力、重機、生コン車、試験練りミキサ)
6	再生骨材コンクリート試験練り時の材齢

表-4 試験項目 1 (粒状再生骨材物性試験)

No.	試験方法	試験項目	規格
1	JIS A 1104	実積率 (%)	—
2	JIS A 5023 附属書A.5.3 (3回の試験結果の平均)	表乾密度 (g/cm ³)	—
		絶乾密度 (g/cm ³)	—
		吸水率 (%)	粗骨材7以下 細骨材 13以下
3	JIS A 1103	微粒分量 (%)	粗骨材3以下 細骨材10以下
4	JIS A 1102	粗粒率	—
	—	5mmふるい通過割合 (%)	—

表-5 粒状化材料の種類

No.	種類	種別	形状
1	粒状化材料A	吸水性高分子	粉体状(A材, B材)
2	粒状化材料B	セルロース繊維	綿状
3	粒状化材料C	吸水性高分子	粉体状
4	粒状化材料D	吸水性高分子	液体状
5	使用しない	—	—

表-6 試験項目2 (再生骨材コンクリート試験)

No.	試験方法	試験項目	粒状化再生骨材の置換率
【フレッシュ性状確認試験】			
1	JIS A 1104	スランプ (cm)	a).細骨材0%, 粗骨材0% b).細骨材5%, 粗骨材5% c).細骨材20%, 粗骨材20% d).細骨材0%, 粗骨材50% e).細骨材30%, 粗骨材0% (各生コン工場で追加も可)
2	JIS A 1150	スランプフロー (cm)	
3	JIS A 1156	空気量 (%)	
4	JIS A 1128	コンクリート温度 (°C)	
【圧縮強度試験】			
5	JIS A 1108	材齢7日圧縮強度 (N/mm ²)	
6	JIS A 1108	材齢28日圧縮強度 (N/mm ²)	

各生コン工場で製造した粒状化再生骨材を使用し、普通骨材との置換率を変化させて、再生骨材コンクリートのフレッシュ性状および硬化後の圧縮強度試験を実施した。試験項目を表-6に示す。

3.4 試験手順

全国共通試験の開始前に参加を表明している生コン工場に説明会を実施し、図-1の試験手順を説明した。説明会に参加できなかった工場については、メールまたは訪問して説明した。

(1) 粒状化再生骨材を作製する原コンクリートは、生コン工場の実機で製造した0.3~1.0m³の生コンとした。配合は、工場で頻繁に練られている配合とだけ指定した。また、実装されると、製造されたばかりの生コンではなく、製造後時間が経過することによる流動性の低下や、打設完了後にアジテータ車ホッパー口の洗いが混入した戻りコンが原コンクリートなるが、その影響は、今回の全国共通試験では考慮しないこととした。

(2) 粒状化材料は、市場で広く使用されている4製品を選定した。表-5に示すNo.4については、専用の製造設備が必要なため、1工場のための試験とした。また、No.5は粒状化材料を使用せずに乾燥した粒状化再生骨材を利用する方法であり、製造にノウハウが必要なため、1工場採用した。No.1~3の粒状化材料については、特定の粒状化材料に偏らないように、RRCS研究会事務局にて、利用する工場を振り分けた。

(3) 粒状化後は、厚さ20cm程度に広げて、ブルーシートで雨や極度な乾燥から養生することとした。

(4)、(5) 材齢1日では必ず攪拌し、粒と粒の固着を防ぐこととした。

(6)、(7) 事前に4工場にて予備試験を実施した結果を図-2, 3に示す。これらの結果から、材齢3日以上であれば、微粒分量および吸水率が安定すると考え、材齢3

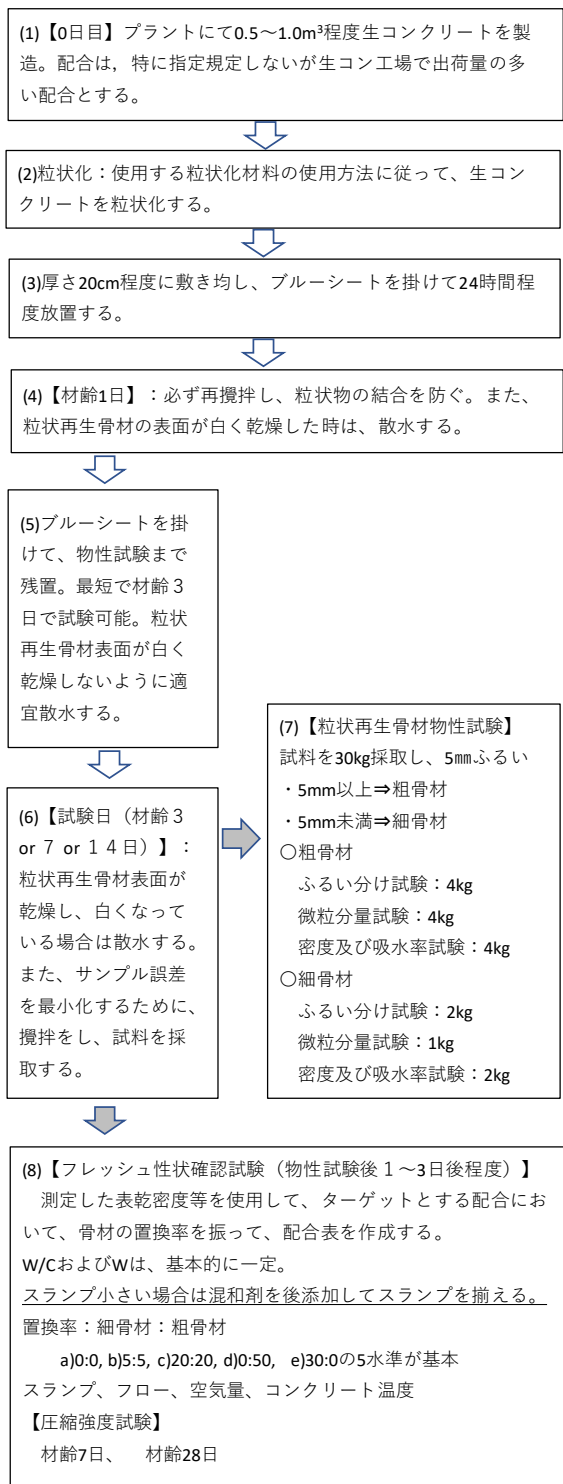


図-1 全国共通試験手順

日以上で物性試験を可能とした。各種試験に必要な試料の量を図-1中に記載し、生コン工場が試験を実施するときの目安を示した。

(8) 普通骨材のみを使用したそれぞれの生コン工場の標準配合から、表-6に示すように、骨材の置換率を変更した。置換率を変更すると流動性の低下が懸念されるが、流動性が低下した場合は、単位水量は変更せず、混和剤を後添加し流動性を確保して、材齢7日と28日の圧縮強度試験供試体を作製することとした。

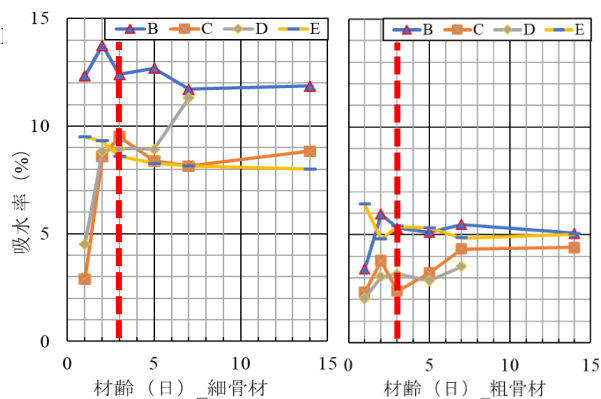


図-2 予備試験における吸水率試験結果

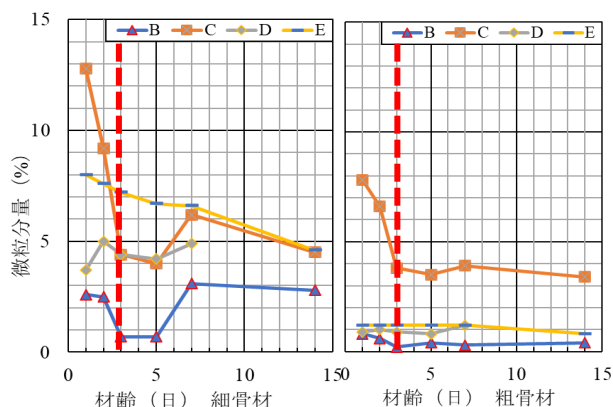


図-3 予備試験における微粒分量試験結果

3.5 粒状化再生骨材の物性試験

(1) 表乾密度・絶乾密度

図-4, 5 に表乾および絶乾密度の測定結果を示す。凡例中の()内の値は粒状化材料ごとの平均値である。

参加工場は 42 工場であるが複数の試験を実施した工場もあり、試料数は 63 となっている。絶乾密度の規定は、再生骨材 M では細骨材で 2.2 以上、粗骨材で 2.3 以上である。“JISA 5308 レディーミクストコンクリート 附属書 A レディーミクストコンクリート用骨材”では 2.5 以上となっている。今回の結果から、粒状化再生骨材は、普通骨材や再生骨材 M 相当よりも密度が小さい傾向があることが確認できた。

(2) 吸水率

図-6 に吸水率の測定結果を示す。()内の値はそれぞれの平均値である。再生骨材 L の規格は、細骨材で 13% 以下、粗骨材で 7% 以下である。粒状化再生細骨材および粗骨材のどちらについても約 15% 程度の試験結果が規格値を超えた。粒状化材料ごとの平均値は、E の使用しない場合の粒状化細骨材以外は、どれも規格値以下となっており、プレウェッティングや製造方法を工夫することで生コンへの適用が可能と考えられる。

(3) 微粒分量

図-7 に微粒分量の測定結果を示す。再生骨材 L の規格は、細骨材で 10% 以下、粗骨材で 3% 以下である。粒状化再生細骨材については規格値を超えるデータがいくつ

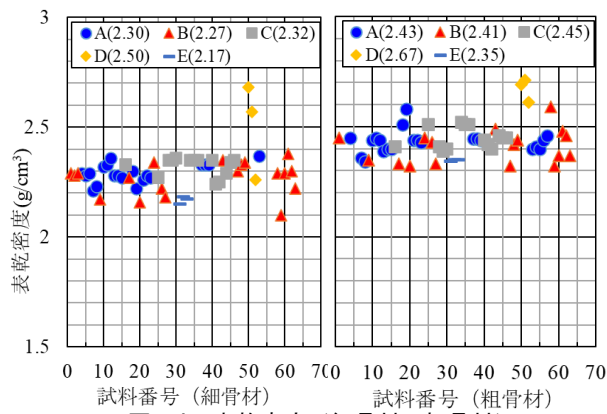


図-4 表乾密度 (細骨材, 粗骨材)

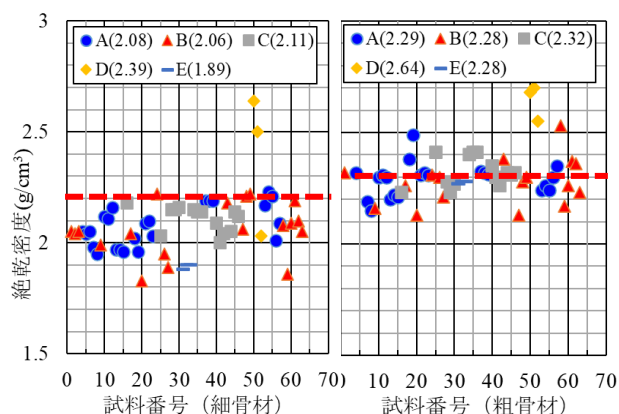


図-5 絶乾密度 (細骨材, 粗骨材)

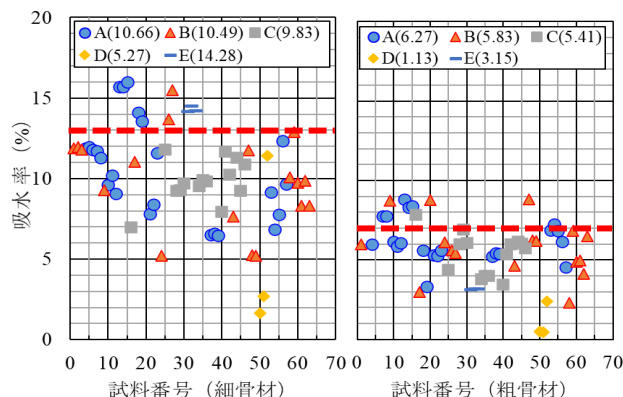


図-6 吸水率 (細骨材, 粗骨材)

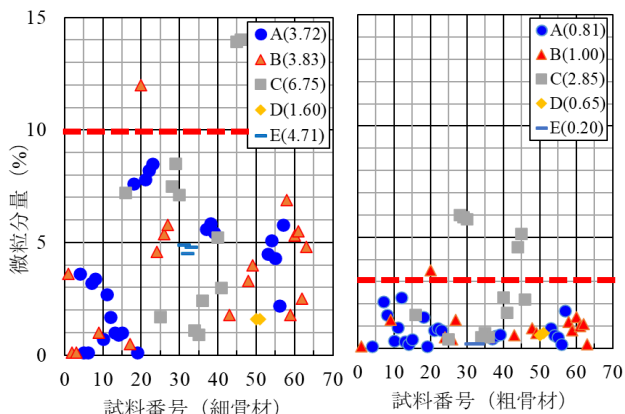


図-7 微粒分量 (細骨材, 粗骨材)

かあるが、ほぼ規格値以下となっており、再生骨材 L と比較して、微粒分は少ないと考えられる。粒状化再生粗骨材については、粒状化材料 C を使用した試験が規格を

超える傾向となっている。粒状化材料 C の適用方法の検討が必要と考えられる。

(4) 粗粒率

図-8 に粗粒率の試験結果を示す。粗粒率は、一般的に細骨材で 2.4~3.0, 最大粒径 25mm の粗骨材で 6.6~7.0 程度である。粒状化再生細骨材の粗粒率は大きく、粒径が大きくなる傾向となっている。粒状化再生粗骨材については、最適範囲であると考えられる。

3.6 コンクリート試験の結果

(1) フレッシュ性状

表-6 に示すように、普通細骨材と普通粗骨材を粒状化再生細骨材、粒状化再生粗骨材に置換して、性状を確認した。その結果、粗骨材については置換率 100%でも材料分離はなくワーカビリティは確保できているとの意見が多かった。一方、細骨材については置換率が 30%~50%では、材料分離等が多く報告されている。したがって、粒状化再生細骨材を 50%程度置換するときは、粉体を増やす等の工夫が必要と考えられる。

(2) 材齢 28 日圧縮強度

図-9~12 に粒状化材料ごとに材齢 28 日の圧縮強度をグラフに示した。今回の試験では生コン工場の参加しやすさを考慮して、最初の a)~e) の 5 ケースの置換率による試験を中心とした。いくつかの生コン工場は、さらに置換率の高い f)~i) 配合まで実施した。

また、それぞれの粒状化材料の強度比率を図-13~16 に示す。“a).0:0”の置換率 0%を 1 とし、青点線が平均値である。どの粒状化材料で作製した粒状化再生骨材のケースにおいても、強度のばらつきはあるが、“e).置換率:細骨材 30%:粗骨材 0%”または“f).置換率:細骨材 0%,粗骨材 100%”までは、強度比の平均は 0.9 以上となり、顕著な強度低下は確認されなかった。今回の実験結果では、細骨材の置換率が 50%を超えると顕著な強度低下がみられている。そのため、今後、詳細な実験を実施し、強度低下のメカニズムや改善策の検討が必要である。

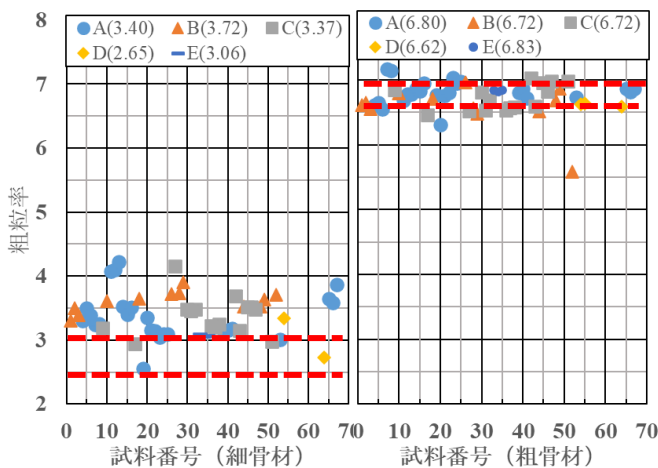


図-8 粗粒率 (細骨材, 粗骨材)

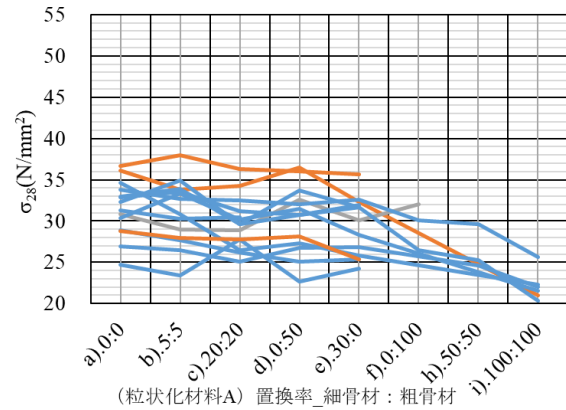


図-9 置換率と圧縮強度 σ_{28} の関係 (粒状化材料 A)

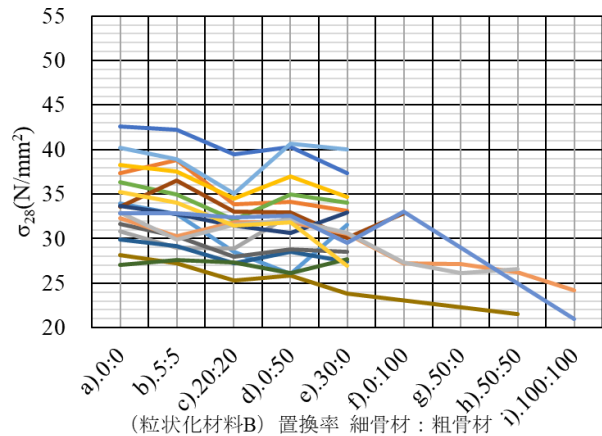


図-10 置換率と圧縮強度 σ_{28} の関係 (粒状化材料 B)

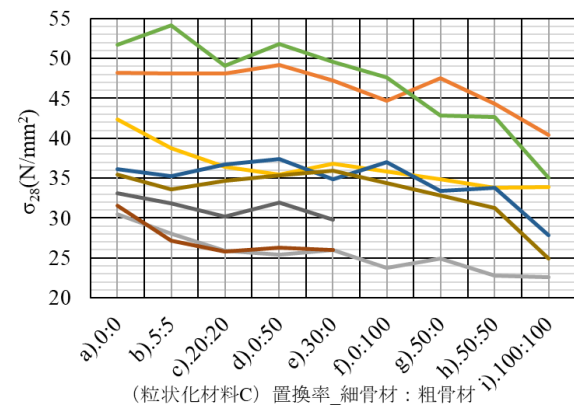


図-11 置換率と圧縮強度 σ_{28} の関係 (粒状化材料 C)

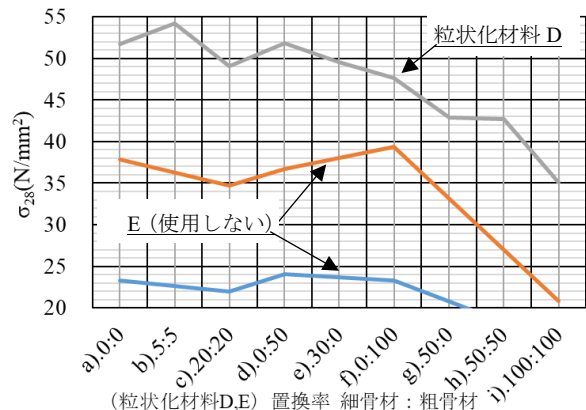


図-12 置換率と圧縮強度 σ_{28} の関係 (粒状化材料 D, E)

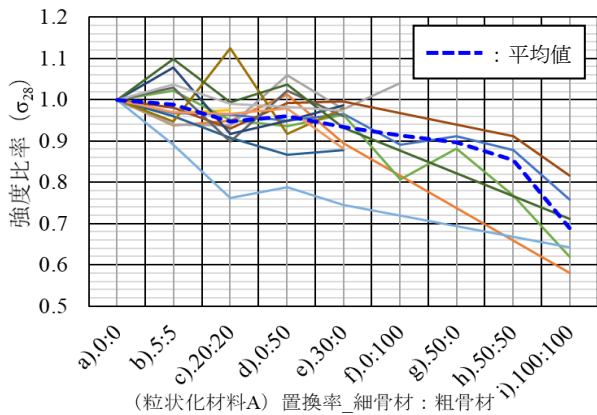


図-13 置換率と圧縮強度比率の関係(粒状化材料A)

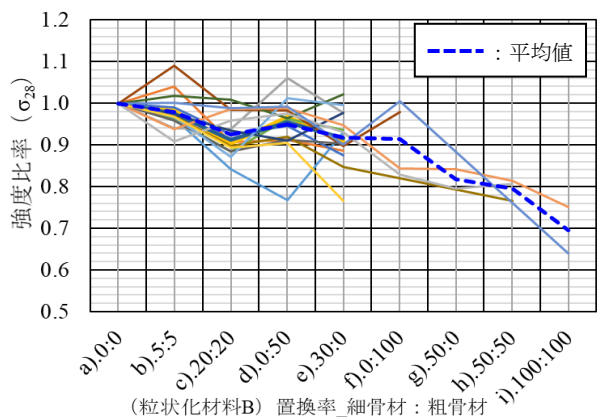


図-14 置換率と圧縮強度比率の関係(粒状化材料B)

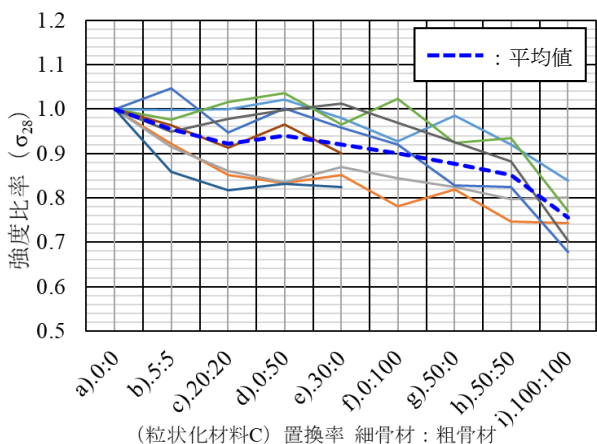


図-15 置換率と圧縮強度比率の関係(粒状化材料C)

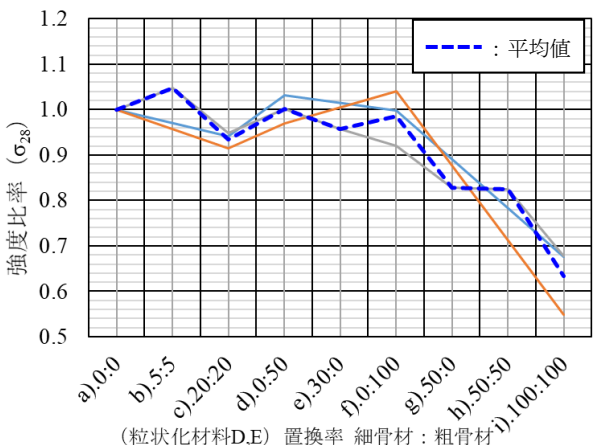


図-16 置換率と圧縮強度比率の関係(粒状化材料D,E)

4. まとめ

(1) 全国42の生コン工場において、全国共通試験を実施した結果、粒状化再生骨材の吸水率および微粒分量の粒状化材料ごとの平均値はどれも再生骨材Lの規格値以下となっており、製造方法等を工夫することで再生骨材L相当としての生コンへの適用が可能と考えられる。

(2) 様々な原コンクリートから製造した粒状化再生骨材を使用して室内試験練りによりフレッシュ時の性能および圧縮強度試験を実施した結果、細骨材については置換率30%、粗骨材については置換率100%程度まで大きな強度低下は認められないことが確認できた。

(3) 粒状化再生骨材の吸水率および微粒分量は、予備試験において、材齢3日以上で安定することが確認できた。

(4) 今回は、原コンクリートを出荷する状態の生コンで実施したが、戻りコンとして生コン工場に戻ってきた状態での実験を検討する必要がある。

謝辞: 通常業務で多忙の中、時間を割いて今回の全国共通試験に参加いただいた生コン工場や組合の方々、その他ご協力頂いた全ての関係者に改めてお礼申し上げます。今後ともご協力の程、よろしくお願い致します。

参考文献

- 1) (一社)生コン・残コンソリューション技術研究会: RRCS が残コン抑制・処理に関わる分科会を設立, PRTIMES 配信, 2021.7.26
- 2) 日経コンストラクション発行: さらば残コン 総力戦で挑む「残コンゼロ」2025年の大阪・関西万博を契機に, 日経コンストラクション 11月号, 2020.11
- 3) 日経コンストラクション発行: さらば残コン 余った生コンを廃棄処分しない CO₂の吸着・固定で脱炭素に貢献, 日経コンストラクション 11月号, 2020.11
- 4) 栗延正成: 戻りコンクリートの完全リサイクルシステム回収骨材の有効利用マニュアル—IWA システム編—より, コンクリートテクノ 9月号, Vol34, No.9, pp9-22, 2015.9
- 5) 低CO₂川崎ブランド等推進協議会: 低CO₂川崎ブランド川崎メカニズム認証制度, p.6, 2017.2
- 6) 照井克尚, 石井昭浩, 佐々木憲昭, 桜田良治: 戻りコンクリートの造粒処理による再生骨材の基本特性, 土木学会東北支部技術研究発表会, V-12, 2015
- 7) 船尾孝好, 谷村賢一郎, 平田孝博, 中野慶, 徳増俊彌, 鈴木峰人: リサイクル骨材を用いたコンクリートの性状および硬化物性に関する研究その6 再生骨材コンクリートへの適用性, 日本建築学会大会学術講演, 1258, pp.515-516, 2015