

論文

## 高炉スラグ高含有セメントを用いた再生骨材コンクリートの強度およびスケーリング抵抗性

石川 英理香<sup>\*1</sup>, 竹入 陽太<sup>\*2</sup>, 西岡 由紀子<sup>\*3</sup>, 伊代田 岳史<sup>\*4</sup>

### Compressive Strength and Scaling Resistance of Recycled Aggregate Concrete made by Cement Contented high Blast Furnace Slag

Erika ISHIKAWA<sup>\*1</sup>, Yota TAKEIRI<sup>\*2</sup>, Yukiko NISHIOKA<sup>\*3</sup> and Takeshi IYODA<sup>\*4</sup>

**要旨：**産業界においては環境負荷低減と資源循環の両立が求められている。本研究では、高炉スラグ微粉末と再生骨材を活用したコンクリートの強度及びスケーリング抵抗性を検討した。なお、再生骨材は L 品と、それを炭酸化して空隙率を低減した改質再生骨材で比較を行った。その結果、高炉スラグ高含有セメントは改質再生骨材を使用した時にのみスケーリングが発生し、骨材中の空隙以外の影響が示唆された。そこで、模擬付着モルタルと新たに打込みを行ったセメントペーストの界面のビッカース硬さを測定したところ、炭酸化改質時の方が脆弱部の範囲が大きかった。

**キーワード：**高炉スラグ微粉末、再生骨材、スケーリング抵抗性、炭酸化改質

#### 1. はじめに

昨今のパリ協定を始めとした世界的な気候変動抑制に向けた動きを受けて、産業界においては環境負荷低減と資源循環を両立した生産プロセスへの移行が求められている。コンクリート分野においては、主要材料であるセメントの CO<sub>2</sub> 排出量が高いことから、産業副産物をセメントに置換した混合セメントの利用拡大が施策の一つとして挙げられている。特に高炉スラグ微粉末 (GGBS) は潜在水硬性を持っていることから多量置換が可能であり着目されている。

他方で、解体コンクリート塊等を再生骨材として利用する資源リサイクルの試みがある<sup>1)</sup>。再生骨材の品質は、高い順に H, M, L の 3 種類に分類されており、昨今の JIS 改正や JASS5 改訂によって特に高い品質の使用用途が広がってきている。しかし、高品質再生骨材を得るためにはエネルギーをかけて磨砕処理をする必要があり、環境負荷は高くなってしまう。この打開策として、松田らが考案した低品質再生骨材の炭酸化による品質改善の手法が挙げられる<sup>2)</sup>。これは、炭酸化することで付着モルタル及びペースト中の空隙を CaCO<sub>3</sub> で充填し、骨材の吸水率と密度を改善する方法であり、普通ポルトランドセメント (OPC) との併用時においては硬化体の圧縮強度や乾燥収縮の改善が確認されている。さらに、環境面で見ると炭酸化反応で CO<sub>2</sub> を固定しているこ

とから、CCU (Carbon Capture and Utilization) 材料として間接的に CO<sub>2</sub> 削減に貢献することができる。しかし、筆者らの検討で GGBS 高置換硬化体に改質した再生骨材 (改質再生骨材) を使用した場合は、改質前の再生骨材 (未改質骨材) 使用時からの圧縮強度の改善度合いが減少する結果が得られている<sup>3)</sup>。また、空隙構造の影響を受けやすい凍結融解に関する検討も未実施である。

本研究においては、GGBS と再生骨材を活用したコンクリートにおいて、炭酸化改質による骨材中の空隙率の変化が強度及びスケーリング抵抗性に与える影響について 2 章で検討を行った。また、3 章においては再生骨材の付着ペースト部の炭酸化の有無が、新たに打込みを行ったコンクリートのペースト部との界面の水和反応に影響をもたらしているのではないのかという仮定の下、模擬付着ペーストを用いたモデル実験を行った。

#### 2. GGBS 使用時の再生骨材コンクリートの硬化性能

##### 2.1 使用材料

表-1 に使用材料と諸元を示す。セメントには普通ポルトランドセメント (N) と高炉セメント C 種 (B) を使用した。再生細骨材 (RS) と再生粗骨材 (RG) は 1974 年に竣工した都営住宅の解体ガラを、湿式磨砕方式の工場で L 規格品として製造したものを使

\*1 芝浦工業大学工学部マテリアルデザイン研究室

\*2 芝浦工業大学大学院理工学研究科社会基盤学専攻 修士課程

\*3 (株) 竹中工務店技術研究所建設・環境基盤研究部 研究主任

\*4 芝浦工業大学工学部土木工学課程担当 教授

表-1 使用材料の諸元

材料名	銘柄・産地	物性
セメント (C)	普通ポルトランドセメント	密度：3.15g/cm <sup>3</sup> ，SO <sub>3</sub> 量：2.31%
	高炉セメント C 種	密度：2.97g/cm <sup>3</sup> ，SO <sub>3</sub> 量：3.56%
水 (W)	水道水	—
普通細骨材 (OS)	混合砂：千葉県君津市産	絶乾密度：2.57 g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：1.77%，空隙率※：3.9%
未改質再生細骨材 (RS)	再生細骨材 (L 品)	絶乾密度：2.00 g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：12.59%，空隙率※：25.3%
改質再生骨材 (RCS)	再生細骨材 (L 品) の炭酸化改質	絶乾密度：2.02 g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：11.01%，空隙率※：22.4%
普通粗骨材 (OG)	碎石：大分県久見市産	絶乾密度：2.67 g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：1.34%，空隙率※：1.3%
未改質粗骨材 (RG)	再生粗骨材 (L 品)	絶乾密度：2.22 g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：5.32%，空隙率※：11.8%， FM 凍害指数：0.010
改質粗骨材 (RCG)	再生粗骨材 (L 品) の炭酸化改質	絶乾密度：2.27 g/cm <sup>3</sup> ，吸水率：4.57%，空隙率※：10.4%， FM 凍害指数：0.025

※空隙率は骨材中の空隙率を表したものであり、各骨材の絶乾密度を算出時の測定データから算出した。

骨材中の空隙率＝（表乾時の骨材質量-絶乾時の骨材質量）/表乾時の骨材容積×100

表-2 コンクリートの計画配（調）合とフレッシュ性状試験結果

	計画配（調）合								フレッシュ性状試験結果			材齢 28 日
	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				空気量 (%)	スランプ (cm)	温度 (℃)	の圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
					水	セメント	細骨材	粗骨材				
N-O	8±2	50	2.0 ±1.0	49.0	190	380	853	922	2.7	4.0	22.5	41.1
N-R							843	912	1.8	7.5	23.3	33.3
N-RC							731	799	1.7	11.0	22.7	35.9
B-O							723	809	1.1	4.0	22.7	29.1
B-R							738	790	1.0	6.0	22.8	21.3
B-RC							730	800	1.2	7.0	22.7	21.3

用した。原コンクリートは当時の JASS5 より、普通ポルトランドセメント使用の呼び強度 24 の AE コンクリートであると推察される。なお、再生骨材、改質再生骨材の他に、比較用として普通骨材（混合砂 OS、碎石 OG）も使用した。

本研究においては、再生骨材は中性化促進装置を用いた乾式炭酸化で骨材の改質を行った。RS、RG をそれぞれバットに 4kg 程度入れ、温度 20℃、湿度 60%RH、CO<sub>2</sub> 濃度 5%の環境で 7 日間促進中性化を行った。骨材全体に CO<sub>2</sub> を行きわたらせて炭酸化効率を向上させるために、1 日 1 回かき混ぜながら霧吹きを用いて水を質量の約 10%供給した。炭酸化後の改質再生細骨材 (RCS)、改質再生粗骨材 (RCG) は共に L 規格の範囲内ではあるが、改質前よりも密度は高くなり、吸水率と空隙率は低下した。粗骨材の FM 凍害指数は再生粗骨材 M（耐凍害品）の規格値以下であるが、改質後の方が高かった。

## 2.2 計画配（調）合

表-2 にコンクリートの計画配（調）合とフレッシュ性状試験の結果を示す。なお、AE 剤添加によって

形成された空隙がスケーリング抵抗性向上に寄与することから、本研究ではより厳しい条件下でのスケーリング抵抗性を確認するために混和剤不使用の non-AE コンクリートとした。セメント種 N、B 共に普通骨材を用いた O、未改質再生骨材を用いた R、改質再生骨材を用いた RC の 3 種類のコンクリートを作製した。配（調）合名は「セメント種-骨材種」で表記している。骨材は全て表乾状態に調整したものを用いた。

練混ぜは容量 50L のパン型ミキサによって行った。粗骨材半量、細骨材半量、セメント、細骨材半量、粗骨材半量の順に投入し、空練りを 30 秒間後、加水して計 120 秒間練混ぜた。なお、練混ぜから脱型までは温度 20℃、湿度 60%の環境で行った。

## 2.3 試験項目及び試験配（調）合

### (1) 圧縮強度試験

JIS A 1108 に準拠し、φ100×200mm の円柱供試体を用いて圧縮強度試験を実施した。打込みを行った後、材齢 2 日に脱型し、恒温恒湿室 (20℃、60%RH) で封緘養生を材齢 28 日まで行った。

## (2) スケーリング試験

ASTM C 672 法を参考にスケーリング試験を実施した。供試体は 225×200×75mm とし、200×75mm の面が打込みを行った面となる型枠に打込みを行い、材齢 2 日に脱型後、材齢 7 日まで封緘養生を行った。その後、乾燥処理等を行わずに、図-1 に示すように試験面（200×225mm）を上面とした際の 4 側面にシリコンシーラントを用いてアクリル板を接着して試験面に水をとどめるための堤を作製し、深さ 6mm となるように水道水を注ぎ入れ試験を開始した。

凍結融解は-20℃の冷凍庫で 17 時間凍結、恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 60%）で 7 時間融解を 1 サイクルとして、50 サイクル実施した。なお、5 サイクル毎に試験面から剥離したスケーリング片をナイロンブラシでかき集めて採取し、105℃の乾燥炉で 24 時間乾燥した。その時の乾燥重量を試験面の面積で除し、単位面積当たりのスケーリング量（g/m<sup>2</sup>）を算出した。またスケーリング試験時の水分吸水量を式(1)の通り、試験体の質量変化から算出した。

$$\text{水分吸水量} = M_x + X - M_s \quad (1)$$

ここで、 $M_s$ ：凍結融解開始前の試験体質量（g）、 $M_x$ ： $x$  サイクル時の試験体質量（g）、 $X$ ： $x$  サイクル時までのスケーリング量（g）

## (3) 空隙率試験

圧縮強度と同じ条件下で材齢 28 日まで封緘養生を行った φ100×200mm の円柱供試体の空隙率を測定した。円柱供試体を湿式カッターにて両端を 25mm 切断後、残りの 150mm を 50mm×3 本に切りだし測定用供試体とした。切断後直ちに水で満たした容器に入れ、真空状態で飽水させて飽水質量と水中質量を計測した。その後、40℃の乾燥炉に質量減少が恒量となるまで約 50 日間静置し、絶乾質量を計測し、アルキメデス法により総空隙率を算出した。

## (4) 透気試験

(2)で示した水分吸水量は、試験開始時の含水状態が配（調）合により異なることから、空隙の連続性の評価は困難である。そこで乾燥試料を用いて透気試験を行った。前項の (3)の 40℃環境下で恒量となった供試体に 0.1MPa の圧力で空気透過させ、その透気量を水上置換法によりメスシリンダーを用いて計測し、以下の式(2)より透気係数を算出した。

$$K = (2LP_1 / (P_1^2 - P_2^2)) \cdot Q / A \quad (2)$$

ここで、 $K$ ：透気係数（cm<sup>4</sup>/N・s）、 $L$ ：供試体厚さ（cm）  
 $P_1$ ：載荷圧力（N/cm<sup>2</sup>）、 $P_2$ ：流出側圧力（0.1N/cm<sup>2</sup>）  
 $Q$ ：透気量（cm<sup>3</sup>/s）、 $A$ ：透気面積（cm<sup>2</sup>）

## 2.4 試験結果及び考察

### (1) 圧縮強度試験結果

表-2 に示した通り、今回 non-AE コンクリートで

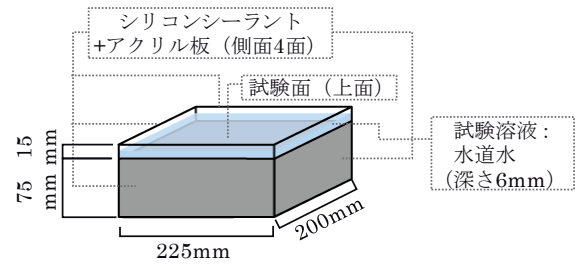


図-1 スケーリング試験の試験体詳細

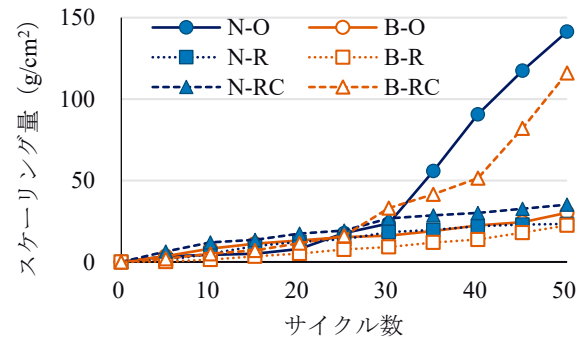


図-2 凍結融解試験で発生したスケーリング量

検討を行ったが、既報と同様にNにおいては、骨材がO、RC、Rの順に強度が高く、空隙率の低い骨材を使用した方が圧縮強度も高くなった。一方で、Bにおいては骨材RとRCは同程度であり、再生骨材を炭酸化改質した効果はコンクリートの圧縮強度にはあまり寄与しなかった。

### (2) スケーリング試験結果

図-2 にスケーリング量の経時変化を示す。N-OとB-RCのスケーリング量が30～40サイクル目あたりから急激に上昇した。その他の配（調）合においては、スケーリング量は緩やかな増加傾向が見られた。

なお、スケーリング劣化は、片平らの論じている層間凍結説<sup>4)</sup>のように、凍結水に存在する塩分が起因して生じると説明されることが多い。しかし、本研究のスケーリング試験では水道水を用いている。よって、今回生じたスケーリング劣化は凍結時の水の体積膨張時の膨張圧や、体積膨張によって押し出される未凍結水の移動で発生する水圧に起因する硬化体組織の破壊が、表層で生じたと推察している。

### (3) 水分吸水量とスケーリング量の関係

図-3 に 50 サイクル時の水分吸水量とスケーリング量の関係性を示す。スケーリングが生じなかった配（調）合の水分吸水量が幅広く分布していることから、水分吸水量はスケーリング劣化には直接影響しないと言える。これは、スケーリング劣化がコンクリートの表層部で生じる劣化であることから、水分吸水性が低くても、表層部に水分が存在してしまえば、それが凍結融解時にスケーリング劣化を引き



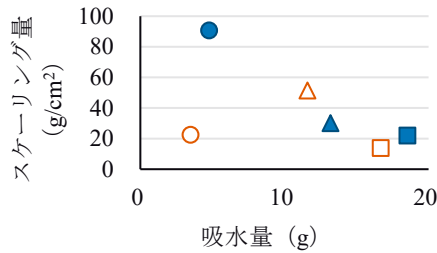


図-3 吸水量とスケーリング量の関係

起す要因になり得たためと考えられる。

#### (5) 空隙の連続性とスケーリング抵抗性の関係

図-4 に透気試験結果を示す。N においては、骨材の空隙率が高い R, RC, O を用いた配（調）合順に透気係数も高くなる傾向が確認された。一方で B においては、空隙率が最も高い骨材を用いた B-C よりも B-RC の方が高い結果を示した。すべての配（調）合において単位セメント量及び単位水量が一定であることを踏まえると、同一セメント種であればセメントペースト（CP）部の空隙構造は同じであることが見込まれる。よって B-RC においては B-R よりも CP と骨材の界面に粗大な連続空隙が形成されていた可能性が考えられる。なお、内川らは遷移帯の形成は 50 nm～2μm の空隙量の増加をもたらす、またペーストと骨材界面の接合強度を下げることから、コンクリートの凍結融解抵抗性を悪化させる<sup>5)</sup>と報告している。このことから骨材界面の遷移帯の生成状況を確認する必要がある。

#### (6) コンクリート中の空隙がスケーリング抵抗性に与える影響の一考察

図-5 に総空隙率を粗骨材由来、細骨材由来、遷移帯を含む CP 由来 (CP+ITZ) に分類した結果を示す。算出方法は式(3), (4), (5)に示す。

$$\text{粗骨材 (G) 由来の空隙率} = P_g \times V_g \quad (3)$$

$$\text{細骨材 (S) 由来の空隙率} = P_s \times V_s \quad (4)$$

$$\text{CP+ITZ 由来の空隙率} = P_a - P_g - P_s \quad (5)$$

ここで、 $P_a$ : 総空隙率 (%),  $P_g$ : 粗骨材中の空隙率 (%),  $P_s$ : 細骨材中の空隙率 (%),  $V_g$ : 粗骨材の単位体積 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ),  $V_s$ : 細骨材由来の単位体積 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )

CP+ITZ に着目すると、N においては骨材の種類による差がほとんどないのに対し、B においては特に R と RC 間に明確な違いがあり、B-RC は CP+ITZ の空隙率が最も高かった。前述の圧縮強度や透気試験の結果において、B で骨材の炭酸化改質効果がコンクリートに現れなかったのも、これに起因するものと整理できる。

骨材由来の空隙に着目すると、骨材 R と骨材 RC を用いた配（調）合は、総空隙中で骨材の空隙が占める割合が高いことがわかる。また、本検討では non-

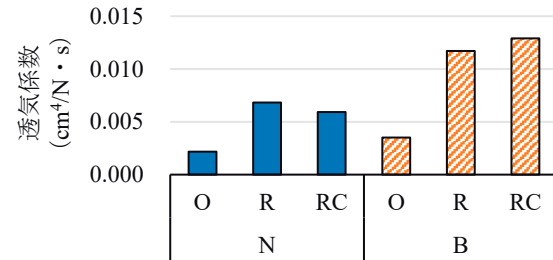


図-4 透気係数

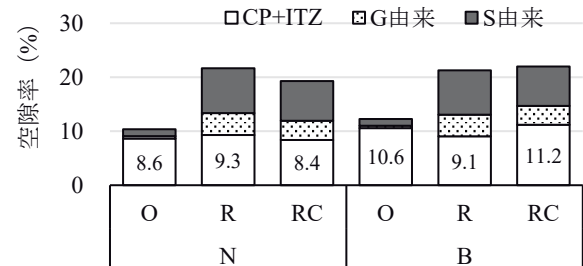


図-5 分類別の空隙率

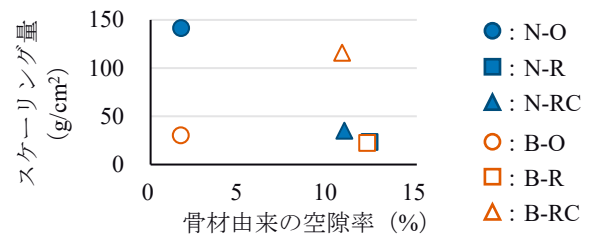


図-6 骨材由来の空隙率とスケーリング量

AE コンクリートで実施したことから、セメントペースト部には凍結時に発生する圧力を吸収できるエントレインドエアほとんど存在しなかった一方で、再生骨材は原コンクリートが AE コンクリートであったことから、再生骨材中のエントレインドエアが凍結時に発生した圧力を緩和していたと考えられる。このことから再生骨材中の空隙の重要性は伺える。

図-6 に骨材由来の空隙率と 50 サイクル目のスケーリング量の関係を示す。N においては、骨材由来の空隙率が少ないほどスケーリング量が高い結果を示し、再生骨材中の空隙がスケーリング抑制に寄与している可能性が伺えた。一方で、B においてはその傾向が見られなかった。B-RC においては、前述の通り CP+ITZ の空隙率の増加していることから、骨材界面が弱くそこから剥離が生じてスケーリングが生じたと考えられる。一方で、B-O が N-O と同様にスケーリングが生じていない原因は、今回の検討では解明できなかった。これがセメント種類による CP 部の空隙構造の違いの影響なのか、スケーリング試験開始時の含水状態（空隙中に存在する水の程度）の影響なのかは引き続き検討が必要である。

### 3. 模擬付着モルタルの炭酸化の有無がセメントペーストの空隙構造及び遷移帯の形成に及ぼす影響

#### 3.1 試験概要

##### (1) 試験の目的

2 章において高炉セメント C 種を使用時には、再生骨材の炭酸化による空隙率の減少がコンクリートに寄与しない傾向が見られた。その要因として骨材と CP の界面の脆弱化、もしくは脆弱部の増加が生じている可能性が伺えた。そこで本章では再生骨材の付着ペースト部の炭酸化の有無が骨材界面に与える影響について模擬試験体を用いて検討を行った。

##### (2) 模擬付着モルタルの作製

再生骨材は、骨材毎に付着モルタル及びペーストの量や厚みにばらつきがあること、また骨材としてセメント硬化体内に入れた際に骨材界面が目視で判断しにくいことから、本研究ではセメントペーストで作製したブロックを模擬付着モルタルとして使用した。

模擬付着モルタルは 2. で使用した OPC を用いた、水セメント比 50% のセメントペーストを 16×16×16mm の型枠に打込みを行い、翌日脱型後、28 日間水中養生（温度 20℃）を行った。その後、気中養生（温度 20℃、湿度 60%RH）を 7 日間したものをも未改質模擬付着モルタル（mR）、炭酸化（温度 20℃、湿度 60%RH、CO<sub>2</sub> 濃度 5%）を 7 日間したものを模擬改質付着モルタル（mRC）とした。模擬骨材の空隙率は 2.3 と同様の方法で測定したところ、mR は 37.7%、mRC は 34.3% となり、炭酸化による空隙率の改善を確認した。

##### (3) 模擬付着モルタル使用の試験体の作製

図-7 に試験体の模式図を示す。セメントは OPC と高炉スラグ微粉末 4000（密度：2.92g/cm<sup>3</sup>、SO<sub>3</sub> 量 2.10%）を混合したものを使用した。GGBS の置換率毎に、0% を 0B、50% を 50B、70% を 70B とした。試験体は、水セメント比 50% のセメントペーストを市販の 25cm<sup>3</sup> 程度の製氷用型枠に①高さ半分までセメントペーストを流し込む、②模擬再生細骨材をその

中に埋め込む、③その上から再びセメントペーストを流し込む、④バイブレータをかけるという順で打込みを行った。材齢 2 日で脱型後、材齢 7 日まで封緘養生（温度 20℃）し、湿式カッターで打込みを行った面が垂直になるように切断を行った。切断面は、研磨紙 #120～10000 を用いて卓上研磨機で研磨した。

##### (4) ビッカース硬さ試験

既往の研究<sup>6)</sup>を参考に遷移帯部とセメントペースト部の境界をビッカース硬さで判断を行った。測定は微小硬さ試験機（荷重 0.2452N、試験力負荷速度 10μm/s）を使用し、模擬付着モルタルからビッカース硬さが急激に低くなった箇所を模擬付着モルタル端部と定義した。端部から 20μm 間隔で 300μm まで 3 点ずつ測定し、平均値をビッカース硬さとした。

##### (5) 脆弱部の結合水率の測定

(4) で用いた試験体は、一定の荷重を加えると模擬骨材と新たに打込みをした新ペースト部の界面（脆弱部）で破断が生じた。また、模擬骨材と新ペースト部には目視で判断可能な色差があった。そこで遷移帯と考えられる模擬付着モルタル端部に接していた新ペーストの脆弱部を電動やすりで採取し、TG-DTA で結合水率の測定を行った。測定は、N<sub>2</sub> フロー環境下で、室温から 1000℃ までを昇温速度 20℃/min で行った。結合水率の算出は式(6)に基づき行った。

$$\text{結合水率} = (M_w - M_c) / M_{1000} \quad (6)$$

ここで、M<sub>w</sub>：105-1000℃の質量減少量、M<sub>c</sub>：550-850℃の脱炭酸量、m<sub>1000</sub>：1000℃加熱後の試料質量

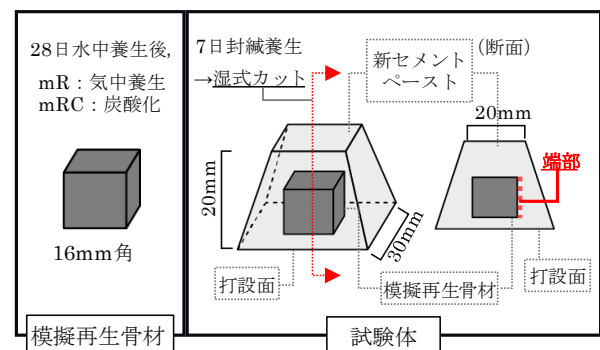


図-7 模擬骨材を用いた試験体詳細

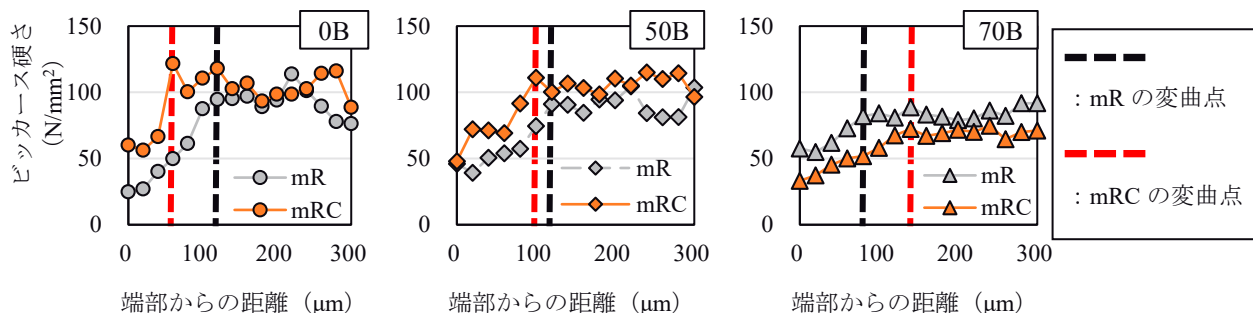


図-8 ビッカース硬さ

## 3.2 試験結果

### (1) ビッカース硬さ試験

図-8 に模擬付着モルタル端部からのビッカース硬さの変化を示す。本研究においては模擬付着モルタル端部からビッカース硬さが増加している範囲内を遷移帯とした。つまり、傾きがなだらかになる変曲点（図-8 の点線箇所）までの位置が遷移帯幅となる。

0B と 50B においては、mRC は mR よりも遷移帯幅は小さく、かつビッカース硬さは高くなった。セメントペースト部（変曲点よりも模擬付着モルタル端部から離れた位置）におけるビッカース硬さは、mRC は mR よりやや高いか同程度であった。一方で、70B においては、mRC は mR よりも遷移帯幅は大きく、ビッカース硬さは低い傾向を示した。セメントペースト部におけるビッカース硬さも mRC は mR よりも低い結果となった。また、GGBS 置換率と変曲点の位置に着目すると、mRC は GGBS 置換率が高いほど変曲点位置は骨材端部から遠く、遷移帯幅は大きくなったが、mR は逆の傾向となった。

### (2) 結合水率

図-9 に結合水率の結果を示す。なお、遷移帯中は水酸化カルシウム（CH）が多く存在していること、また C-S-H は未水和セメント粒子付近に存在し、アルミネート水和物は骨材から離れて存在すると言われている<sup>5)</sup>ことから、本研究では結合水率中で CH の結合水率が占める割合に着目をし、同じ GGBS 置換率同士であればこれが多いほど骨材界面が脆弱であると仮定した。CH の結合水率は DTA 曲線の脱水ピーク間の質量減少量から算出を行った。

GGBS 置換率が同じもの同士の結合水率の総量は、mR と mRC でほぼ同量であるが、CH 由来の結合水率が占める割合に着目すると、0B においては mR の方が mRC よりも高く、また 50B においても差は縮まっているが同様な傾向が得られた。一方で、70B においては mRC の方が mR よりも多かった。これは GGBS 置換率が高い場合に mR を用いると、骨材周囲に水が滞留せずにそもそも CH が生成しにくい、もしくは CH が GGBS の水和によって消費されて、mRC の骨材界面よりも脆弱部が減少した可能性が伺える。

## 4. まとめ

本研究で得られた結果を下記に示す。

- (1) 再生骨材は炭酸化改質により、普通ポルトランドセメントとの併用時は圧縮強度及び透気係数は改善した。一方で、高炉スラグ高含有セメント使用時は改質の効果が表れなかった。

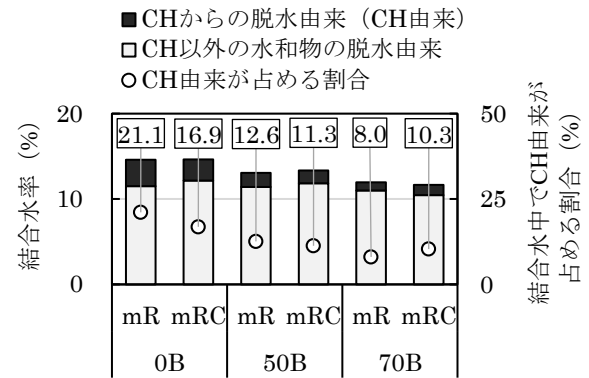


図-9 骨材界面の脆弱部の結合水率

- (2) non-AE の普通ポルトランドセメントを用いた再生骨材コンクリートでは、再生骨材中の空隙が凍結融解時の膨張圧を緩和して、スケーリング抵抗性が向上した。
- (3) 高炉スラグ高含有セメントと炭酸化した改質再生骨材を併用した場合、スケーリングが生じた。この要因として、骨材界面の脆弱部の増加が影響している可能性が伺えた。

## 謝辞

成果は、NEDO の委託業務 (JPNP21023) にて得られたものであり関係各位に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 立屋敷久志, 兼松学: 再生骨材コンクリートの普及に向けて, コンクリート工学, Vol.61, No.5, pp.456-461, 2023
- 2) 松田信広, 伊代田岳史: 再生骨材コンクリートの普及に向けて, コンクリート工学論文集, 第 30 巻, 65-76, pp.65-76, 2019
- 3) 竹入陽太, 石川英理香, 伊代田岳史, 池尾陽作: 低品質再生骨材を使用した GGBS 硬化体の強度特性に関する検討, 第 78 回セメント技術大会講演要旨, PP.148-149, 2024
- 4) 片平博, 古賀裕久: スケーリング劣化のメカニズム解明に向けた基礎的実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, 2020
- 5) 内川浩: セメントペーストと骨材界面の構造・組織がコンクリートの品質に及ぼす影響, コンクリート工学, Vol.33, No.9, pp.5-17, 1995
- 6) 後藤努, 庄谷征美, 阿波稔: コンクリートの骨材界面に形成される遷移帯に関する基礎的研究, 土木学会東北支部技術研究発表会, V-40, pp.604-605, 1998