

論文 炭酸化により改質した低品質再生骨材を使用したコンクリートの圧縮強度とスケーリング抵抗性に関する検討

竹入 陽太*1・兼田 康平*2・伊代田 岳史*3・西岡 由紀子*4

要旨: 低品質再生骨材の利用拡大は、循環型社会、脱炭素社会の実現に大きく貢献できると考えられ、普及に向けた様々な検討が行われている。本研究では、炭酸化により改質した低品質再生骨材を使用したコンクリートの強度・スケーリング抵抗性に関する検討を実施した。普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートにおいては、改質再生骨材の使用により、未改質再生骨材使用時と比べ、圧縮強度は改善することが確認され、スケーリング抵抗性については同程度であった。高炉セメントコンクリートにおいては、再生骨材の改質前後で同程度の圧縮強度であり、スケーリング抵抗性については小さくなった。

キーワード: 再生骨材, 炭酸化, 圧縮強度, スケーリング抵抗性, 高炉スラグ微粉末

1. はじめに

我が国では脱炭素社会の実現や、持続可能な社会の実現に向け様々な分野で取り組みが行われている。コンクリート分野においては、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材をセメントの代替として利用し、セメントの使用量を抑制することで、材料由来のCO₂排出量を大幅に低減したコンクリートの開発や、コンクリートやコンクリート用骨材へのCO₂固定など様々な技術¹⁾が検討されている。

一方で、構造物の解体によって発生する解体コンクリート塊は、大部分が路盤材として再利用されて来たが、路盤材の供給量が需要量を上回る可能性があり²⁾、解体コンクリート塊を再生骨材として再利用する検討が必要である。再生骨材は、コンクリート塊を破碎、磨砕などの処理を行い製造される。品質(絶乾密度および吸水率)によってH、M、Lの三種類に分類され、再生骨材および再生骨材コンクリートはJIS A 5021(コンクリート用再生骨材H)、JIS A 5022(再生骨材Mを用いたコンクリート)、JIS A 5023(再生骨材Lを用いたコンクリート)として規定されている。再生骨材の品質を左右するものとして、骨材に付着および混入するモルタルやセメントペースト(以下、付着モルタル)の割合や原コンクリートの配合³⁾があげられる。再生骨材Hは付着モルタルの割合が少なく、普通骨材と同様に使用することが可能である。しかし、製造時に加熱すりもみなどの特殊処理が必要となり⁴⁾、製造時に関わるコスト・エネルギーは非常に大きい。さらには付着モルタルの除去により、処理方法の検討が必要である副産微粉末を大量に発生させてしまう。再生骨材Mは、適用範囲は限定されるが、基礎や杭などの主要なRC構造物に適用可能である。製造に

関わるコスト・エネルギーは再生骨材Hほどではないが比較的高い。再生骨材Lは、簡易に製造できるため製造に関わるコスト・エネルギーは非常に低い。しかし、低品質ゆえに、コンクリートの強度低下や乾燥収縮増大、凍結融解抵抗性が低下するといった課題があげられる。

再生骨材の普及および持続可能な社会の実現を考慮する場合、低コスト・低エネルギーで製造できる低品質再生骨材の利用促進が期待される。筆者らはこれまでに、骨材自体の品質が低い低品質再生骨材の改質技術について検討を行ってきた。CO₂ガスを用いて再生骨材の付着モルタルを炭酸化させることにより、骨材品質の改善、またはコンクリートに適用した場合の強度増進、乾燥収縮低減、物質移動抵抗性の向上^{5) 6)}を確認している。しかし、再生骨材のコンクリートへの利用上の課題とされる凍結融解抵抗性に関する検討は未実施であった。

また、二酸化炭素排出量の削減を目的に高炉スラグ微粉末を大量使用したセメントと改質再生骨材を併用した場合には、強度特性が異なることも報告⁷⁾しているが、耐久性に関する検討はまだ実施していない。そこで本研究では炭酸化により改質した再生骨材を使用したコンクリートの、圧縮強度およびスケーリング抵抗性を含めた耐久性の確認および、高炉スラグ微粉末を大量使用した場合のコンクリートの特性の把握を目的に検討を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料

表-1に使用材料およびその物性を示す。セメントには普通ポルトランドセメント(N, 密度: 3.15g/cm³)、高炉セメントC種(BC, 密度: 2.97g/cm³, SO₃量: 3.56%)を使用した。

*1 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 (学生会員)

*2 芝浦工業大学 工学部土木工学科

*3 芝浦工業大学 工学部 教授 土木工学課程担当 博士(工学)(正会員)

*4 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部 研究主任 修士(工学)(正会員)

表-1 使用材料および物性

名称	銘柄・産地	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.15g/cm ³ ，SO ₃ 量：2.31%
	高炉セメントC種	密度：2.97g/cm ³ ，SO ₃ 量：3.56%
水	水道水	—
普通細骨材	混合砂：東京都大田区産	絶乾密度：2.57g/cm ³ ，吸水率：1.77%，空隙率：3.9%
未改質再生細骨材	再生細骨材L	絶乾密度：2.00g/cm ³ ，吸水率：12.59%，空隙率：25.3%
改質再生細骨材	再生細骨材L-炭酸化	絶乾密度：2.02g/cm ³ ，吸水率：11.01%，空隙率：22.4%
普通粗骨材	胡麻柄山系砕石：大分県津久見市	絶乾密度：2.67g/cm ³ ，吸水率：1.34%，空隙率：1.3%
未改質再生粗骨材	再生粗骨材L	絶乾密度：2.22g/cm ³ ，吸水率：5.32%，空隙率：11.8%
改質再生粗骨材	再生粗骨材L-炭酸化	絶乾密度：2.27g/cm ³ ，吸水率：4.57%，空隙率：10.4%

表-2 計画配合表

配合名	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
N-普通	8±2	50	2.0±1.0	49.0	190	380	853	922
N-未改質							843	912
N-改質							731	799
BC-普通							723	809
BC-未改質							738	790
BC-改質							730	800

再生骨材は 1974 年に竣工した都営住宅の解体ガラから製造されたものを使用した。当時の JASS 5 から、原コンクリートはセメント種が普通ポルトランドセメント、呼び強度 24 の AE コンクリートであると推定される。このコンクリートの解体ガラを乾式にて破碎し、ジョークラッシュャ、インパクトクラッシュャ、振動ふるい機を用いることで再生骨材を製造した。細骨材・粗骨材共に再生骨材 L に相当し、以後、「未改質再生細骨材、未改質再生粗骨材」と表記する。

次にこれらを炭酸化させたものを「改質再生細骨材、改質再生粗骨材」と表記する。炭酸化の方法については以下の通りである。まず、再生骨材は一般の大気中においても炭酸化する可能性があるため、再生骨材製造後から大気に触れないように注意し保管した。再生細骨材・再生粗骨材共にバット内に 4kg 程度入れ、温度 20℃、湿度 60%RH、CO₂ 濃度 5% に設定した促進中性化装置に 3 段に重ねて配置し、7 日間炭酸化を行った。骨材全体に均一に CO₂ が行きわたるように、1 日に 1 回、骨材のかき混ぜ、霧吹きを用いて質量の約 10% 程度の水分の加水、バットを重ねる順番の入れ替えを行った。

JIS A 1109-2006, JIS A 1110-2006 に準拠し実施した改質前後の再生細骨材・粗骨材の絶乾密度と吸水率の関係を図-1 に示す。炭酸化によって、再生細骨材・再生粗骨材共に吸水率は 0.7~1.5% 小さくなり、絶乾密度は 0.05~0.10g/cm³ 大きくなり、改善が確認された。改質再生粗骨材に関しては、再生粗骨材 M 規格値付近まで絶乾密度および吸水率の改善が確認された。試験時に計測した

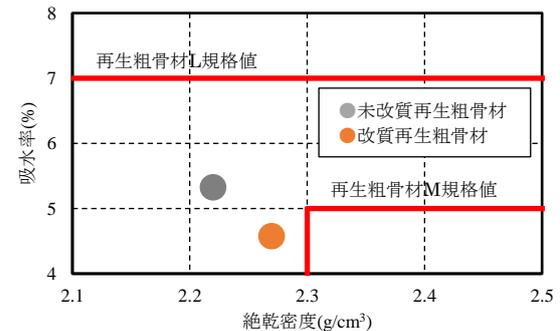
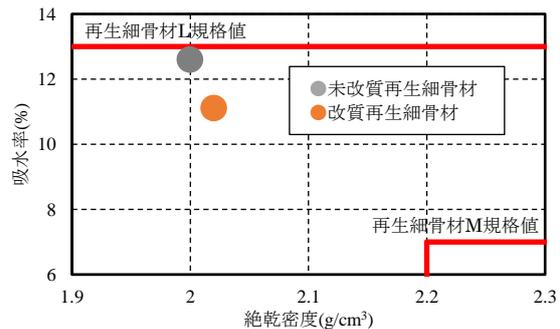


図-1 再生細骨材・再生粗骨材の絶乾密度・吸水率

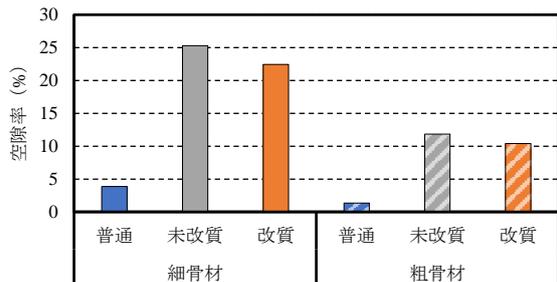


図-2 再生細骨材・再生粗骨材の空隙率

骨材の飽水質量，水中質量，絶乾質量からアルキメデス法(2.3(2)と同様の方法)を用いて算出した空隙率を図-2に示す。改質によって細骨材・粗骨材共に空隙率が減少することが確認された。

これらの改質前後の再生細骨材・再生粗骨材と，比較用に普通細骨材として混合砂，普通粗骨材として碎石を使用した。

2.2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

コンクリートの配合を表-2に示す。N，BCの各セメントで普通細骨材および普通粗骨材，未改質再生細骨材および未改質再生粗骨材，改質再生細骨材および改質再生粗骨材を用いたコンクリートを作製した。骨材はすべて表乾状態に調整したものを使用した。配合名は「セメント種-骨材種」と定義し，すべての配合で水セメント比50%，単位水量190kg/m³，空気量2.0±1.0%，混和剤不使用のnon-AEコンクリートとした。凍結融解抵抗性はAE剤を添加し所定の空気量を有する場合は向上することが知られている。今回は使用材料自体の凍結融解抵抗性を評価するために，十分な劣化をさせることを目的に混和剤は使用しなかった。

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秒間行い，水を投入して計120秒間(60秒経過時点でかき混ぜを実施)練混ぜた。なお，練混ぜと，打ち込みから脱型までは温度20℃，湿度60%の環境下で行った。型枠コンクリートのフレッシュ試験結果を表-3に示す。凍結融解抵抗性を左右する空気量については1.0~2.7%の間にとどまった。

2.3 試験項目および試験配合

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験はφ100×200mmの円柱供試体を用いてJIS A 1108に準拠して実施した。供試体は打ち込みから2日後に脱型し，恒温恒湿室(温度20℃，湿度60%)で封緘養生を行った。試験は材齢7，28，56日に実施した。

(2) 空隙率試験

φ100×200mmの1本の円柱供試体を，脱型後材齢28日まで温度20℃で封緘養生したのち，切断機を用いて両端を25mm切断し，残りの150mmを50mm×3本に切断し，実施した。切断後の供試体を，水で満たした容器に入れ，真空状態で飽水させ飽水質量と水中質量を測定した。その後質量が恒量となるまで約50日程度40℃の乾燥炉に静置し，絶乾質量を測定し，式(1)のアルキメデス法により空隙率を算出した。

$$\text{空隙率(\%)} = \frac{\text{飽水質量} - \text{絶乾質量}}{\text{飽水質量} - \text{水中質量}} \times 100 \quad (1)$$

(3) 透気試験

透気試験は，空隙率試験実施後の絶乾状態のφ100×

表-3 コンクリートのフレッシュ性状

配合名	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
N-普通	6.0	2.7	22
N-未改質	7.5	1.8	23
N-改質	11.0	1.7	22
BC-普通	6.0	1.1	22
BC-未改質	6.5	1.0	22
BC-改質	7.0	1.2	22

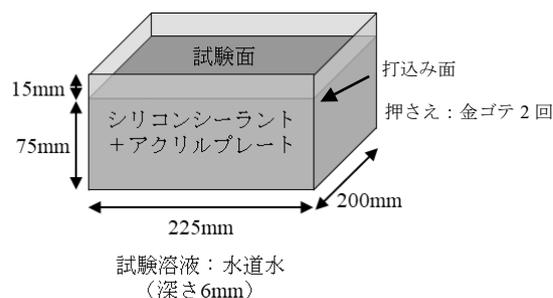


図-3 スケーリング試験体

50mmの供試体を用いて実施した。0.1MPaの圧力で空気を透過させ，その時の透気量を水上置換法によって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。

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

ここで，K：透気係数 (cm⁴/(N・s))，L：供試体高さ (cm) P₁：載荷圧力 (N/cm²)，P₂：流出側圧力 (大気圧として0.1N/cm²)，Q：透気量 (cm³/s)，A：透気面積 (cm²)

(4) 粗骨材の凍結融解試験

粗骨材の凍結融解試験は，JIS A 5022 付属書Dに準拠して実施し，凍結融解前後の粗粒率の変化(FM凍害指数)によって粗骨材の耐凍害性を評価した。

(5) スケーリング試験

スケーリング試験はASTM C 672法を参考に実施した。図-3に示すような225×200×75mmの供試体を200×75mmの面が打込み面となるように作製し，材齢7日まで封緘養生を行い，その後，吸水処理・乾燥処理などは行わずに，試験面(200×225mm)に深さ6mmとなるように水道水を注ぎ入れ試験を開始した。凍結融解による劣化は塩化物イオンによって促進されるため，試験溶液としてASTM C 672法では任意で塩化カルシウム水溶液を使用することが記されているが，本実験では単純な水分の凍結と融解による劣化のみを評価するため，水道水を使用した。-20℃の冷凍庫で17時間の凍結，温度20℃，湿度60%の環境下で7時間の融解を1サイクルとし，50サイクル実施した。5サイクル毎に試験面より剥離したスケーリング片を，ナイロンブラシを用いて

採取し、105℃の乾燥炉で 24 時間乾燥させ、乾燥重量を測定し、試験面積で除し、単位面積あたりのスケーリング量(g/m²)に換算し、2 体の試験体の平均値で評価した。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度試験

図-4 に材齢 7, 28, 56 日における圧縮強度試験の結果を示す。N の場合、N-未改質を N-改質が上回り、再生骨材の改質による圧縮強度の改善が確認された。また、N-改質の 28 日から 56 日の強度の伸びは大きく、材齢 56 日時点では N-普通と同程度の圧縮強度であった。一方で BC の場合、材齢 28 日の圧縮強度は BC-未改質と BC-改質で同程度であった。これは既往の報告と⁷⁾と同じ傾向であった。また、BC-普通と BC-改質と比べ、BC-未改質の 28 日から 56 日の強度の伸びが大きくなり、材齢 56 日の圧縮強度は BC-改質を上回った。これは、高炉スラグ微粉末の反応に必要な水分が、吸水率が高い未改質再生細骨材および未改質再生粗骨材から供給され、内部養生効果によって圧縮強度が増加したのではないかと推察される。

3.2 空隙率試験

図-5 に空隙率試験の結果を示す。コンクリートの総空隙率を粗骨材部分、細骨材部分、遷移帯を含むセメントペースト (CP) 部分の空隙率に分類してグラフに示している。この時、骨材部分の空隙率は、骨材の空隙がコンクリート内でも不変と仮定し、骨材の空隙率と単位体積との積から算出した。遷移帯および CP 部分の空隙率は、総空隙率から骨材部分の空隙率を引くことにより算出した。まず、総空隙に着目すると、N, BC 共に、未改質と改質は普通を大きく上回る空隙率であった。これは再生骨材の付着モルタル中の空隙が多いためであると考えられる。次に、N-改質は N-未改質よりも空隙率が減少した。これは再生骨材の炭酸化によって付着モルタルの空隙が緻密になったためと考えられる。一方で、骨材自体は炭酸化により緻密になっているのにも関わらず、BC-未改質と BC-改質は同程度の空隙だった。ここで、遷移帯を含む CP の部分の空隙率に着目すると、N ではいずれの骨材を用いたときにおいても同程度であったのに対し、BC では改質、普通、未改質の順に減少している。これは、既往の報告⁷⁾と同じ傾向であり、原因として、高炉スラグ微粉末と未改質再生骨材との併用により、骨材界面の空隙が緻密になった可能性、あるいは、改質再生骨材との併用により骨材界面の脆弱部分が拡大した可能性が考えられるが、さらなる検討を行う必要がある。

3.3 透気試験

図-6 に透気試験の結果を示す。N, BC 共に、未改質と改質は普通を大きく上回る透気係数であった。また、

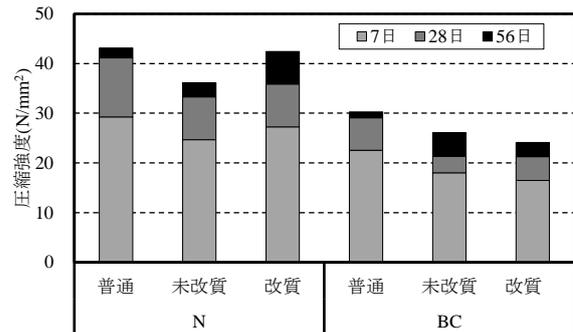


図-4 圧縮強度

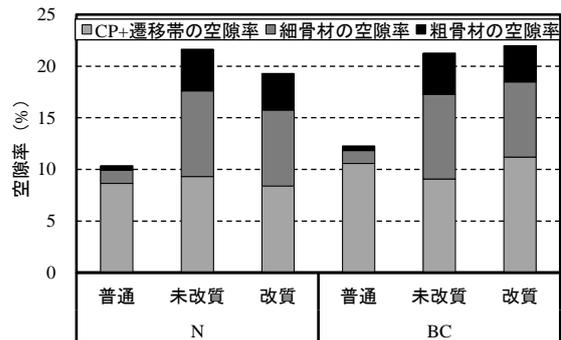


図-5 空隙率

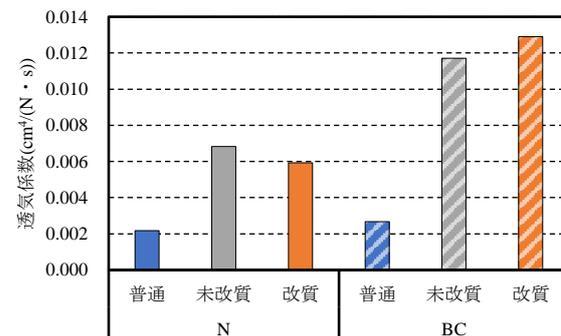


図-6 透気係数

N-改質は N-未改質よりも透気係数は減少しているが、BC-改質は BC-未改質よりも透気係数は増加している。これは空隙率試験の結果と同じ傾向であったため、セメント種によらず、既往の報告⁶⁾と同様、透気係数はコンクリート中の空隙率に依存することが考えられる。N コンクリートと BC コンクリートそれぞれの透気係数を比較すると、いずれの骨材種においても BC コンクリートが上回る結果であった。一般的に、高炉スラグ微粉末の置換率の増大に伴い、空気や水分などの物質移動抵抗性が向上することが確認されている。しかし、このような結果が得られた原因として、高炉スラグ微粉末を大量置換したセメントを使用したコンクリートは中性化抵抗性が低く、中性化により開放空隙が増加することが報告⁸⁾されているが、今回の試験では透気試験用の供試体を 50 日程度乾燥炉に静置したことにより、供試体表面の中性

化が進行し、開放空隙が増加したためだと考えられる。

3.4 骨材の凍結融解試験

図-7 に骨材の凍結融解試験結果を示す。再生粗骨材の FM 凍害指数は、改質の有無に関わらず再生粗骨材 M (耐凍害品) 規格値を満足した。これは本実験にて使用した再生骨材の原コンクリートが、AE 剤によって適切に空気が連行していたことにより、凍結融解抵抗性を有していたためだと考えられる。一方、未改質再生粗骨材よりも改質再生粗骨材の方が FM 凍害指数が大きくなった。これは、再生粗骨材を炭酸化させたことにより、付着モルタル中の空隙が炭酸カルシウムで充填され、気泡同士の距離が大きくなり、気泡間係数が大きくなるなどの影響を及ぼしたのではないかと推察される。

3.5 スケーリング試験

図-8 に N コンクリートのスケーリング量を示す。50 サイクル時点でのスケーリング量は、N-普通が、N-未改質と N-改質を大きく上回る結果となった。また、各配合 2 体の試験体のばらつきは十分小さかった。今回の試験は Non-AE コンクリートを用いたことから、N-普通では凍結圧を抑制できず、スケーリング量が大きくなったと考えられる。これに対して、N-未改質と N-改質のスケーリング量が顕著に抑えられていることから、普通ポルトランドセメントを用いた時、使用した再生骨材の原コンクリートが AE コンクリートの場合には、凍結圧を再生骨材が抑制しスケーリング抵抗性が担保されるのではないかと考えられる。実際に、再生骨材コンクリートの凍結融解抵抗性は、原コンクリートが AE コンクリートである再生骨材を使用した場合は高いといった文献も⁹⁾報告されているため、今回の実験においても、同様のことが言えるのではないかと考えられる。ただし、原コンクリート中の空気量が小さい場合は、抵抗性が低下する¹⁰⁾恐れがある。また、骨材を改質したことによるスケーリング抵抗性への明確な影響は 50 サイクル時点では確認されなかった。

次に、図-9 に BC コンクリートのスケーリング量を示す。50 サイクル時点でのスケーリング量は、BC-改質が、BC-普通と BC-未改質を大きく上回る結果となった。また、各配合 2 体も試験体のばらつきに関しては BC-改質のみやや大きくなったものの、2 体とも他配合と比較し、著しくスケーリングは大きくなった。一般に高炉セメントを使用したコンクリートのスケーリング抵抗性が低下する¹¹⁾ことが知られているが、今回の結果においては N-普通と BC-普通を比較するとそのような傾向は確認されなかった。また、BC-改質のスケーリング量が著しく大きくなった原因として、以下のように考察した。まず、図-5 の空隙率試験の結果に示すように、BC-改質と BC-未改質の空隙率と同程度となったが、これは、骨材界

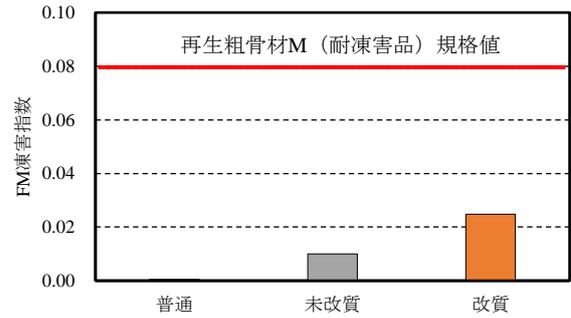


図-7 再生粗骨材の FM 凍害指数

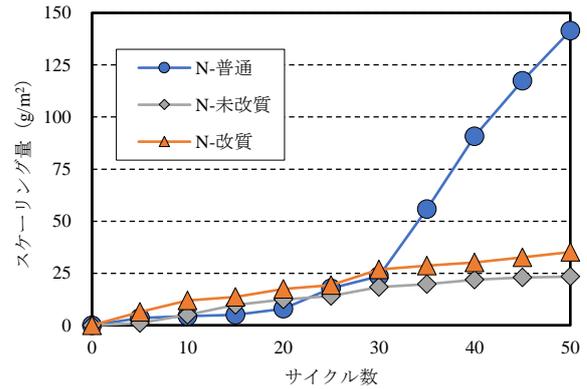


図-8 スケーリング量 (N)

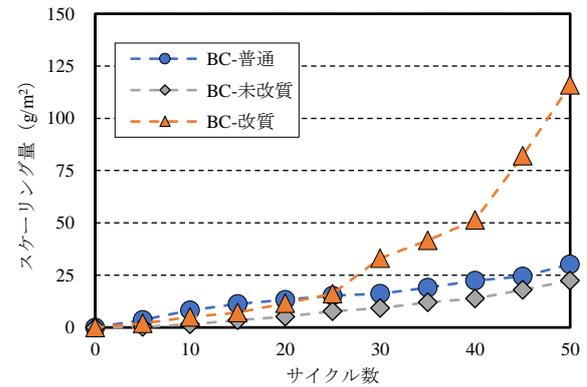


図-9 スケーリング量 (BC)

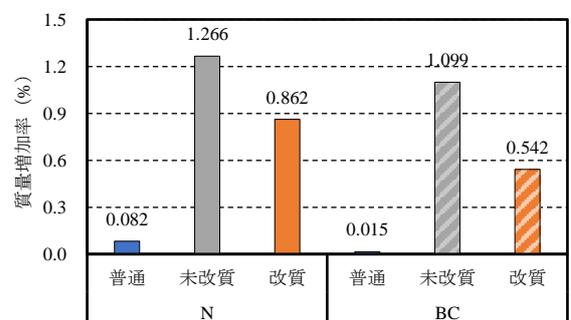


図-10 5 サイクル時点での質量増加率

面の空隙が BC-改質の方が大きくなるためだと考えられる。そのため、BC-改質では骨材界面部分の水分の凍結圧によって、もともと脆弱である骨材界面がさらに脆弱になり、スケーリングし易くなったと考えられる。

次に、試験開始から5サイクルまでの試験体の質量増加率を図-10に示す。この試験は封緘養生7日後に吸水処理などはせず、そのままスケーリング試験を始めている。BC-普通では、ほとんど変化がないことが分かる。この結果や、高炉スラグ微粉末には耐水分浸透性が高いという特徴があることから、5サイクルの段階ではスケーリング劣化に必要な水分が表層から浸透しないため、劣化を抑制した可能性があるかと推察される。また、N、BC共に、普通に対して未改質と改質が大きく上回り、未改質の質量増加率が最も大きくなった。吸水量自体は大きくなったものの、再生骨材を使用したN-未改質、N-改質、BC-未改質の3配合でスケーリングを抑制できたのは、再生骨材の付着モルタル中に含まれていた独立気泡が凍結圧を緩和した影響であると推察される。

4. まとめ

本研究では炭酸化により改質した再生骨材と高炉スラグ微粉末を大量使用したセメントを併用したコンクリートの圧縮強度とスケーリング抵抗性の把握を目的に検討を行った。以下に本研究で得られた知見を示す。

- 1) 改質再生骨材を用いることで、未改質再生骨材を用いた時と比較して、Nコンクリートにおいては圧縮強度が改善するが、BCコンクリートにおいては、同程度の圧縮強度であった。
- 2) 空隙率試験、透気試験についても、圧縮強度試験の結果と同様、改質再生骨材の使用により未改質再生骨材使用時と比較して、Nコンクリートにおいては改善し、BCコンクリートにおいては改善が認められなかった。
- 3) 粗骨材のFM凍害指数は、再生粗骨材の改質の有無に関わらず再生粗骨材Mの規格値を満たしたが、改質前後で比較すると、未改質再生粗骨材を改質再生粗骨材が上回ることが確認された。
- 4) Nコンクリートにおいては、再生骨材使用時は、骨材の改質の有無に関わらず、普通骨材使用時よりもスケーリング量は大幅に減少した。再生骨材の原コンクリートがAEコンクリートであれば、凍結融解抵抗性は担保されるのではないかと考えられる。
- 5) BCコンクリートのスケーリング量は、Nコンクリートの傾向とは異なり、改質再生骨材使用時が顕著に多かった。

本研究の結果および考察は、non-AEコンクリートのものであり、AEコンクリートの場合や試験条件が異なる場合凍結融解抵抗性については今後検討を行う必要がある。

謝辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP21014)を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発プロジェクトで得られたものです。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 取違剛, 森泰一郎, 小島正朗: 革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術および品質評価技術の開発, コンクリートテクノ, Vol.42, No.1, pp.58-64, 2023.1
- 2) 澁谷和俊ほか: 再生路盤材の需給バランスの予測, 土木学会第63回年次学術講演会, pp.131-132, 2008
- 3) 立屋敷久志: JIS A5201(再生骨材H)の製造技術, コンクリート工学, 46巻5号, pp.62-66, 2008
- 4) 黒田泰弘, 菊地俊文: 解体コンクリートによる二酸化炭素の固定, コンクリート工学論文集, 第20巻第1号, pp.15-22, 2009.1
- 5) 松田信広, 亀山敬宏, 松田美奈, 伊代田岳史: CO₂ガスの強制吸着による低エネルギー型再生骨材製造方法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1732-1737, 2014
- 6) 湯屋連, 松田信広, 小島正朗, 伊代田岳史: 低品質再生骨材コンクリートの耐久性向上を目的とした複数の改質方法の効果と改質メカニズムの検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.994-999, 2022
- 7) 竹入陽太, 伊代田岳史, 池尾陽作: 改質再生骨材と高炉スラグ微粉末を併用した環境配慮型コンクリートの強度特性に関する検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第24巻, pp.45-50, 2024, 10
- 8) 水野博貴, 伊代田岳史: 炭酸化した高炉セメント硬化体の空隙構造変化が水分浸透性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.665-670, 2019
- 9) 片平博, 渡辺博志: 再生骨材の簡易凍結融解試験法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1351-1356, 2005
- 10) 田浦裕二郎ほか: 再生骨材の品質がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響, 土木学会第60回年次学術講演会要旨, 5-388, pp.775-776, 2005
- 11) 吉田行, 安中新太郎: 塩化物作用下におけるスケーリング対策と評価試験法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.809-814, 2019