

論文 複数の空隙改質手法による再生粗骨材コンクリートの性能向上の検討

坂井 一貴*1・松田 信広*2・杉山 知巳*3・伊代田 岳史*4

要旨：再生コンクリートの普及に向けて、エネルギーやコストを抑えて製造することができる低品質再生骨材の利用促進が望まれている。本研究では再生粗骨材を使用したコンクリートを改質する方法として C-S-H 系硬化促進剤の添加によるコンクリートの改質に着目した。硬化促進剤の効果的な添加方法として本研究では硬化促進剤溶液でのプレウェッティング、骨材に硬化促進剤を吹きかけ付着させる方法の検討を行い、通常の添加方法や強制炭酸化による骨材改質との強度や耐久性の比較を行った。その結果、効果促進剤の添加方法により、圧縮強度、割裂引張強度や物質移動抵抗性、空隙の改善に違いが確認された。

キーワード：再生コンクリート、再生骨材、C-S-H 系硬化促進剤、強制炭酸化、プレウェッティング

1. はじめに

構造物を解体した際に産業廃棄物として大量の解体コンクリート塊が発生するが、この解体コンクリート塊を資源として再利用する方法として、コンクリート用骨材である再生骨材としての利用が挙げられる。再生骨材は製造方法や骨材の絶対密度や吸水率により H, M, L の 3 種類に分類されており、再生骨材および再生コンクリートは 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) として制定されている。H 品質の再生骨材は普通コンクリートとして使用が可能な範囲で構造物の部材、部位に適用が可能である一方で、M 品質では乾燥収縮および凍結融解作用の影響を受けにくい部材・部位への使用が可能、L 品質では捨てコンなど高い強度や耐久性が要求されない部材・部位への使用と低品質の再生骨材は使用可能な範囲が限定されている。また H 品質の再生骨材は製造過程で発生する二酸化炭素排出量が多く、砕石のおよそ 1.5 倍と高価であることから、高品質の再生骨材ほど消費エネルギー、製造コストが高くなっているのが現状である。このことから再生コンクリートの普及に向けて、エネルギーやコストを抑えて製造することができる低品質再生骨材の利用促進が望まれている。しかしながら、低品質再生骨材を用いたコンクリートは骨材の付着モルタル自体や再生骨材まわりの界面に空隙が多く存在することから強度や耐久性が低いという問題点がある。そこで本研究では低品質再生粗骨材を使用したコンクリートの改質技術として、骨材の物性を改質させる方法と、コンクリートの物性を改質させる方法の 2 つについて検討を行った。

まず再生骨材の物性を改質させる技術について、著者

らのグループの研究¹⁾において骨材に CO₂ ガスを吸着させて炭酸化することで再生骨材の物性を改質させる方法を報告している。この技術はコンクリートの炭酸化メカニズムに着目したものである。再生骨材を強制炭酸化させることで骨材に付着しているモルタルの成分である水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化することで骨材の密度が増加し、骨材の体積が増加する。これにより骨材中の細孔が減少することで緻密化され、コンクリートの強度や耐久性が向上するものである。

次に再生コンクリートの物性を改質させる技術として C-S-H 系硬化促進剤の添加に着目した。C-S-H 系硬化促進剤はカルシウムシリケート系水和物のナノ粒子を主成分とした混和剤であり、この粒子がコンクリートの液相中に C-S-H の種結晶として導入されることで C-S-H が成長し、水和が促進される。深澤らの研究²⁾より、普通コンクリートにおいて C-S-H 系硬化促進剤を添加することで骨材界面の空隙が緻密化され、コンクリートの圧縮強度や物質透過抵抗性が改質されることが報告されている。これはナノ粒子によってセメント粒子から離れた位置においても水和反応が進行するため、水和生成物が効率的に空隙を充填することによるものだと考えられる。このメカニズムを用いることで再生コンクリートの強度や耐久性改善に応用できるのではないかと考えた。

本研究では、低品質再生粗骨材 (再生粗骨材 L) を用いたコンクリートに C-S-H 系硬化促進剤を添加することによる強度や耐久性の改善について検討を行い、再生骨材の強制炭酸化による改質を行った場合との比較を行った。また低品質再生骨材は吸水率が高いことから C-S-H 系硬化促進剤を再生骨材に付着させやすいのではないかと考え、C-S-H 系硬化促進剤の効果的な添加方法および

*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 (学生会員)

*2 (株) 東京テクノ 工場長 (正会員)

*3 ポゾリスソリューションズ (株) セールス&マーケティング 技術開発センター AS 技術開発 (正会員)

*4 芝浦工業大学 工学部先進国際課程 (兼務 土木工学科) 教授 博士 (工学) (正会員)

その効果について検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 再生コンクリートの空隙

低品質再生骨材を用いたコンクリートには強度や耐久性が低いという問題点があるが、再生コンクリートにおいて骨材の付着モルタル自体や再生骨材まわりの界面に空隙が多く存在することが三浦らの研究⁴⁾や石橋らの研究⁵⁾により報告されている。このことから低品質再生骨材を用いたコンクリートの強度や耐久性が低い原因はコンクリート内部に空隙が多く存在するからではないかと考えられる。再生コンクリートにおいて空隙が存在する箇所として図-1に示す通り、1) 骨材界面、2) 再生骨材自体、3) モルタル部分の3箇所が考えられる。再生コンクリートの品質を改善するためには骨材界面、再生骨材自体、モルタル部分の総空隙量を改善させることが重要であると考え、骨材界面、再生骨材自体、モルタル部分の総空隙量の改善に焦点をおいた。

2.2 計画配合

表-1に本研究で使用した骨材の物性を示す。本研究では全ての配合において再生粗骨材Lを使用しており、使用した再生粗骨材Lは戻りコンを原料としている。細骨材は砕砂を使用した。表-2に本研究におけるコンクリートの計画配合を示す。一般的な低品質再生骨材を用いたコンクリートでは、再生骨材の元となる原骨材の種類が不明であることからASRの発生についても十分に検討しなければならない。今回はASRによる影響を除外するために、ASRの抑制を目的として使用したセメントの45%を高炉スラグ微粉末に置換した。再生骨材は一度絶乾状態にしており、練り混ぜ前に水道水で24時間ブレウェッティングを行い、練り混ぜ直前にウエスで骨材まわりの水分を拭き取り表乾状態として用いる。

(1) C-S-H系硬化促進剤の添加方法

再生コンクリートへのC-S-H系硬化促進剤の添加方法について、材料メーカーが提示する一般的な使用方法ではセメントに対して1.0%~5.0%添加するが、C-S-H系硬化促進剤はセメントに対して作用するのではなく、C-S-

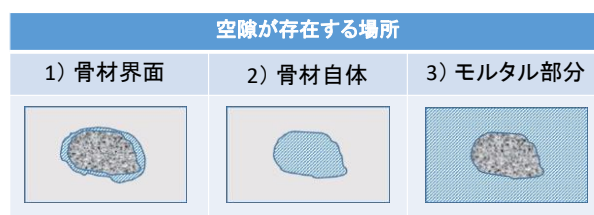


図-1 空隙が存在する箇所のイメージ

表-1 使用骨材の物性

	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率 (F. M.)
再生粗骨材L	2.42	2.29	5.53	6.70
再生粗骨材L・炭酸化	2.46	2.36	4.38	6.70
砕砂	2.62	2.57	1.31	2.52

Hの生成核として液相中に存在していることが重要であると考えた。そこで水野らの研究³⁾を参考し、液相中のC-S-H系硬化促進剤の濃度を制御する目的で、今回の配合では単位水量に対して3%、10%添加した。これはセメントに対して1.5、5.0%にあたる。再生コンクリートへC-S-H系硬化促進剤を混和剤として添加することで、骨材界面およびモルタル部の空隙量を改善できるのではないかと考えられる。

(2) 骨材の強制炭酸化

再生骨材の強制炭酸化は中性化促進装置を用いて20℃、RH60%、CO₂濃度5%の環境で1週間静置することで実施した。再生骨材を強制炭酸化させることで、再生骨材に含まれる細孔が緻密化されて再生骨材自体の空隙量を改善できると考えられる。

(3) 効果的なC-S-H系硬化促進剤の添加方法

再生コンクリートへのC-S-H系硬化促進剤の効果的な添加方法として2つの方法を提案する。1つ目はC-S-H系硬化促進剤を水で濃度10%に希釈した溶液でブレウェッティングさせる方法である。この方法により再生骨材に付着しているモルタル自体にC-S-H系硬化促進剤を浸透させることができ、再生骨材自体の空隙量の改善効果があるのではないかと考えた。2つ目は再生骨材にC-S-

表-2 コンクリートの計画配合

種類		改善させたい 空隙	W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単位量 (kg/m ³)					ACX	
名称	改質方法					W	OPC	GGBFS	S	G	添加率 (W×%)	添加量 (kg)
N	無改質		50	48	4.5	170	187	153	847	847	0	0
ACX3%	硬化促進剤 (W×3%)	1) 骨材界面 3) モルタル部									3	5.1
ACX10%	硬化促進剤 (W×10%)	1) 骨材界面 3) モルタル部									10	17.0
ACX-S	スプレー付着 (ACX3%と同量)	1) 骨材界面									-	-
ACX-D	ブレウェッティング (溶液濃度10%)	2) 骨材自体									-	-
CO ₂	骨材炭酸化	2) 骨材自体								861	0	0

H系硬化促進剤を霧吹き等で吹き付けて添加させる方法である。この方法により再生骨材まわりにC-S-H系硬化促進剤を多く配置することができ、骨材界面の空隙量を効果的に改質できるのではないかと考えた。本研究ではC-S-H系硬化促進剤の添加方法の違いが再生骨材コンクリートの強度や耐久性に及ぼす影響を確認した。

配合の種類はC-S-H系硬化促進剤0%添加(N)の他、1)骨材界面および3)モルタル部の空隙量の改善を目的としたC-S-H系硬化促進剤を単位水量あたり混和剤として3%添加(ACX3%)、10%添加(ACX10%)、1)骨材界面の空隙量の改善を目的としたC-S-H系硬化促進剤を吹きかけ添加(ACX-S)、2)骨材自体の空隙量の改善を目的としたC-S-H系硬化促進剤濃度10%の溶液でプレウェットニング(ACX-D)、骨材の強制炭酸化(CO₂)とした。またACX-Sの配合ではACX3%と同量のC-S-H系硬化促進剤を添加している。

2.3 実験概要

再生コンクリートにおける強度および耐久性の評価方法として、圧縮強度試験、割裂引張強度試験、乾燥収縮試験、空隙率試験および透気試験を行った。

(1) ブリーディング試験

ブリーディング試験は試料の温度及び試験場所の温度が20℃近傍にあればJISA1123による試験と概ね同等の結果が得られる理由から、試験がより簡易的なJCI-S-015-2018(小型容器によるコンクリートのブリーディング試験方法)を採用した。容器はφ100×200mmの円柱型枠を使用した。

(2) 圧縮強度試験

供試体はφ100×200mmの円柱供試体であり、温度20℃にて材齢28日まで標準養生を施し、JISA1108に準拠して実施した。

(3) 割裂引張強度試験

供試体はφ100×200mmの円柱供試体であり、温度20℃にて材齢28日まで標準養生を施し、JISA1132に準拠して実施した。

(4) 乾燥収縮試験

供試体は100×100×400mmの角柱供試体を作製し、7日間標準養生を行った後、JISA1129-3に準拠してダイヤルゲージ法を用いて実施した。

(5) 透気試験

供試体は28日間標準養生を施した150×150×150mmのコンクリートの、上面および下面から5cmの高さからφ100×50mmの円柱供試体のコアを採取した。供試体は質量が恒量となるまで40℃の炉で乾燥させた。その後0.1MPaの圧力で空気を透過させ、その量を水上置換法よりメスシリンダーを用いて透気量を計測し、透気係数を算出した。

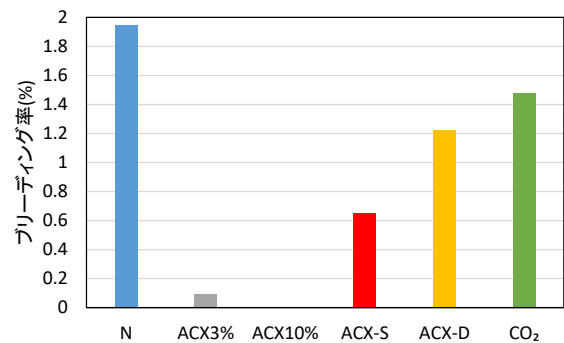


図-2 ブリーディング試験の結果

(6) 空隙率試験

供試体は透気試験で使用した供試体を使用した。供試体は乾燥炉の中に静置させ、恒量となった時点を絶乾として絶乾質量を測定した。また絶乾質量測定後に水の入った容器に試料を入れて、真空チャンバー中に静置させ、6時間真空吸引し、その後1日真空保持状態として飽水させ、飽水質量を測定した。そして水中質量を計測し、アルキメデス法を用いて式(1)より、コンクリート全体の空隙率を算出した。

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

3. 試験結果及び考察

3.1 ブリーディング試験

図-2にブリーディング試験の結果を示す。C-S-H系硬化促進剤を添加した配合ACX3%、ACX10%においてはブリーディングがほとんど生じなかった。またACX-D、ACX-SにおいてNと比較してブリーディング量が低減した。C-S-H系硬化促進剤にはブリーディングを抑制する効果を有することが馬場らの研究⁶⁾より報告されているが、実験の結果よりC-S-H系硬化促進剤をプレウェットニングやスプレー添加することにより、再生骨材内部および骨材周りにC-S-H系硬化促進剤を存在させることで、ブリーディングを抑制させることが可能であることがわかった。C-S-H系硬化促進剤によるブリーディング抑制のメカニズムについては、C-S-H系硬化促進剤に含まれるC-S-Hのナノ粒子による物理的な保水性向上、硬化促進剤の導入で生成されるC-S-Hがブリーディングによる水みちを塞ぐなどが考えられるが、メカニズム解明には今後検討する必要がある。またC-S-H系硬化促進剤を高添加(ACX10%)すると過剰にブリーディングが抑制していることが考えられ、表面を仕上げにくく表面が粗くなる傾向を確認した。C-S-H系硬化促進剤の高添加に関しては表面品質の検討も必要であると考えられる。

3.2 圧縮強度試験

図-3に圧縮強度試験の試験結果を示す。Nと比較す

ると ACX10%では圧縮強度が増加した一方で、ACX10%以外の改質方法はNと比較すると強度の増加が見られなかった。同様に添加した ACX3%では強度の増加が見られなかったのは、これは C-S-H 系硬化促進剤を一定割合以上添加することにより圧縮強度が増加することが考えられることから、ACX3%での C-S-H 系硬化促進剤の添加量では圧縮強度を増加させるためには不十分であったと言える。

3.3 割裂引張強度試験

図-4 に割裂引張強度試験の試験結果を示す。N と比較すると全ての配合で効果が見られたが、その中でも CO₂ において割裂引張強度が最も増加し、ACX10%が CO₂の次に強度が増加した。また、その他の C-S-H 系硬化促進剤を添加させた配合においてもNと比較して強度が増加した。CO₂は ACX10%と比較して割裂引張強度が高いことから、骨材の強制炭酸化による改質方法は、C-S-H 系硬化促進剤の添加より骨材の物性を改質する効果が大きく、骨材性状に依存するため割裂引張強度は高くなったと考えられる。また骨材自体の空隙量の改善を目的とした ACX-D や、骨材界面の空隙量の改善を目的とした ACX-S に関しても改善傾向が見られたことから、骨材物性や骨材界面の空隙量の改善は割裂引張強度に大きな影響を与えると推測される。

3.4 乾燥収縮試験

図-5 に乾燥収縮試験の試験結果を示す。N と比較すると ACX10%は乾燥による収縮を抑制した。また CO₂ と ACX-D は N と比較して乾燥収縮が少し減少しており、CO₂ と ACX-D はほぼ同じ長さ変化の傾向となった。N と ACX3%はほぼ同じ長さ変化の傾向となった。ACX10%において乾燥収縮による長さ変化が減少したことから、C-S-H 系硬化促進剤を一定以上添加することで再生コンクリートにおける乾燥収縮の抑制効果があると考えられる。

3.5 圧縮強度と空隙率

図-6 に圧縮強度と空隙率の関係を示す。N と比較して C-S-H 系硬化促進剤を添加した配合(ACX3%, ACX10%)では空隙率にあまり変化がなかった一方で、ACX10%では圧縮強度が増加した。また、CO₂や ACX-D では空隙率が大きく改善されたが、圧縮強度は増加しなかった。骨材物性の改質を目的とした配合(CO₂, ACX-D)において空隙率の減少が見られることから、コンクリートの空隙率は骨材の空隙量に大きく関係しているのではないかと考えられる。再生骨材自体や骨材界面の空隙量の改善に着目した配合では圧縮強度の改善が見られないことから、C-S-H 系硬化促進剤の高添加(ACX10%)による再生コンクリートの圧縮強度増加はモルタル部分の空隙量の改善によるものではないかと想定される。

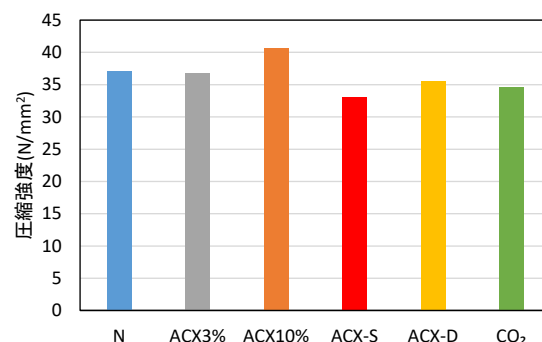


図-3 圧縮強度試験の結果

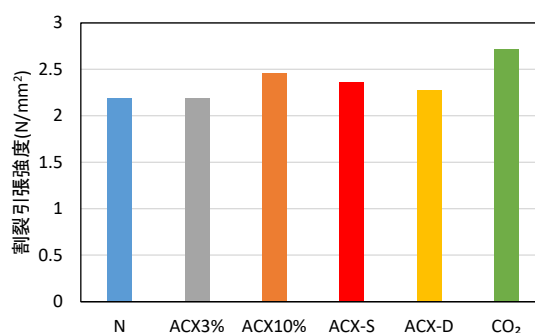


図-4 割裂引張強度試験の結果

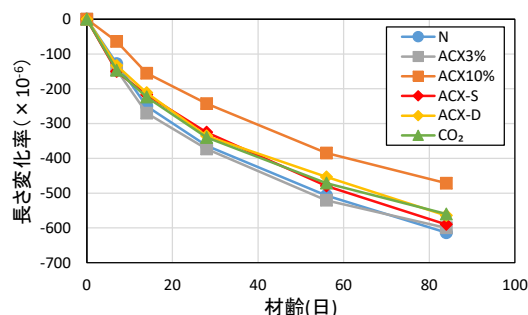


図-5 乾燥収縮試験の結果

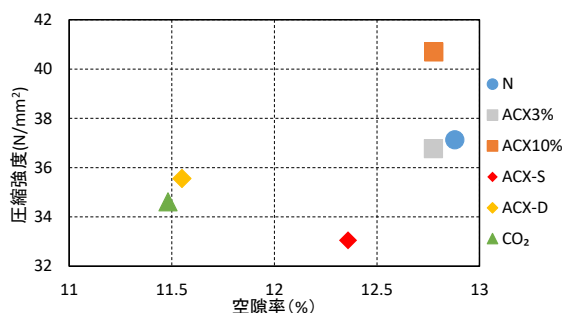


図-6 圧縮強度と空隙率の関係

3.6 割裂引張強度と空隙率

次に図-7 に割裂引張強度と空隙率の関係を示す。再生骨材自体の改質を目的とした CO₂, ACX-D では N と比較して空隙率が改善され、割裂引張強度も増加した。また、骨材界面の空隙量の改善を目的とした ACX-S で

は空隙率は CO_2 、ACX-D と比較すると変化は小さいが改善されて、割裂引張強度も増加した。この結果から割裂引張強度は再生骨材自体に含まれる空隙量に依存しており、また再生骨材の物性や骨材界面の空隙を改善することでも、割裂引張強度を改善させることができると考えられる。また C-S-H 系硬化促進剤を高添加 (ACX10%) した場合は空隙量の改善以外の要因により割裂引張強度が改善されることが考えられる。

3.7 透気試験の結果

図-8 に透気試験の結果より算出した透気係数を示す。すべての配合において N と比較して透気係数が低くなっていることから、いずれの改質手法においても物質移動抵抗性が改善していることがわかる。特に骨材界面の空隙量の改善を目的とした ACX-S、ACX3%、ACX10% は物質移動抵抗性を大きく改善していることがわかる。その中でも骨材界面とモルタル部分の両方の空隙量の改善を目的とした ACX3%、ACX10% は物質移動抵抗性をさらに大きく改善している。このことから骨材自体、骨材界面、モルタル部分いずれの空隙量を改善させても物質移動抵抗性は改善されるが、骨材界面の空隙量を改善することで物質移動抵抗性を大きく改善させることができ、モルタル部分の空隙量を改善することでさらに物質移動抵抗性を改善することができると考えられる。

3.8 透気試験と空隙率試験

図-9 に透気係数と空隙率の関係を示す。再生骨材の物性の改質を目的とした CO_2 、ACX-D は空隙率が大きく改善し、骨材界面の空隙量の改善を目的とした ACX-S、ACX3%、ACX10% は物質移動抵抗性が改善している。この結果からコンクリート全体の空隙率の改善は物質移動抵抗性と大きな関係性はなく、骨材界面の空隙量の改善によりコンクリートの物質移動抵抗性を改善することができると考えられる。

アルキメデス法を用いた空隙率試験は再生コンクリートの再生骨材自体、骨材界面、モルタル部のいずれの空隙量を計測しているのか、各部分における空隙に関しては不透明である。再生コンクリートへの C-S-H 系硬化促進剤の添加により、再生骨材、骨材界面、モルタル部のいずれの空隙量が改善され、その空隙量が改善されることで強度や耐久性にどのような影響をもたらすかについては今後検討していく必要があると考えられる。

4. 改質される空隙と影響

本研究により得られた実験結果から C-S-H 系硬化促進剤の添加により改質される空隙とその影響について考察する。図-10 に各種配合における C-S-H 系硬化促進剤の存在か所のイメージ図を示す。まず ACX-D は再生骨材を C-S-H 系硬化促進剤の溶液でプレウェッティングす

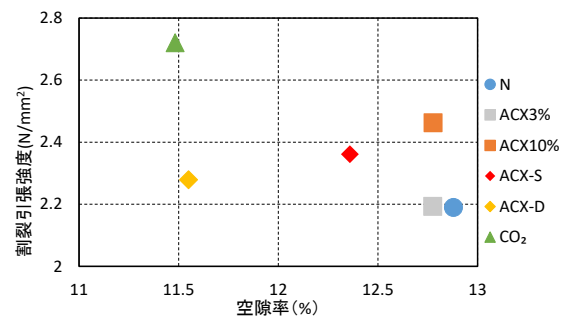


図-7 割裂引張強度と空隙率の関係

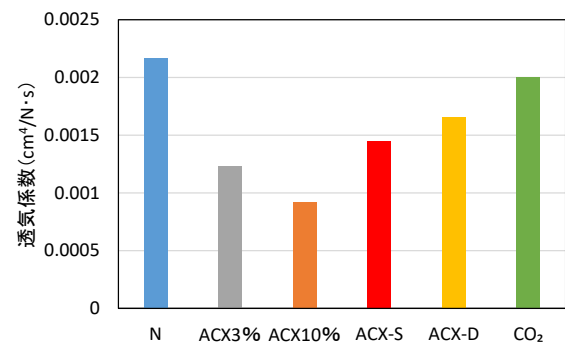


図-8 透気試験の結果

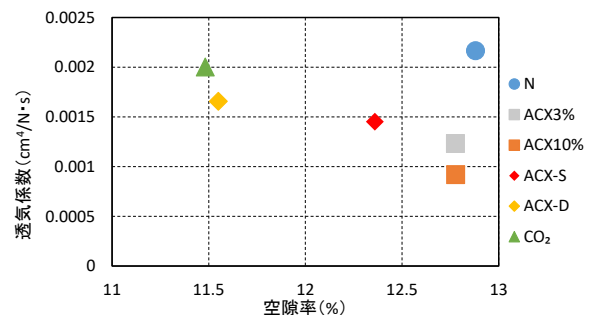


図-9 透気係数と空隙率の関係

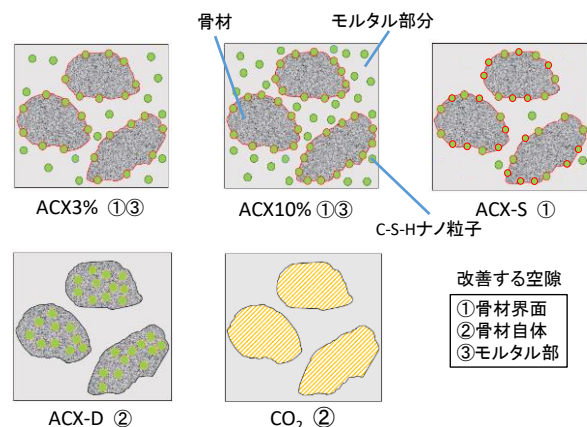


図-10 各種配合における C-S-H 系硬化促進剤の配置図

ることで、C-S-H 系硬化促進剤の主成分である C-S-H のナノ粒子が骨材に付着するモルタル自体に浸透したことが想定される。これにより再生骨材の付着モルタル内部

に浸透した C-S-H のナノ粒子を生成核として C-S-H が生成されることで、モルタル内部の空隙を水和した C-S-H が充填し、再生骨材自体の空隙量が改善されることが考えられる。次に ACX-S は再生骨材に C-S-H 系硬化促進剤を直接添加することにより、多量の C-S-H のナノ粒子を骨材まわりにあらかじめ存在させることができる。これにより再生骨材まわりに C-S-H を多く存在させることができ、これにより生成された C-S-H が骨材界面の空隙を充填することで、骨材界面の空隙量が改善されることが考えられる。そして C-S-H 系硬化促進剤をコンクリートに添加した ACX3%、ACX10% は再生コンクリートの骨材界面やモルタル部の液相中に C-S-H のナノ粒子を存在させ、そのナノ粒子を生成核として C-S-H を生成することによって、骨材界面とモルタル部の両方の空隙量を改善していることが考えられる。

次に表-3 に各配合における改善目標となる空隙と強度や耐久性の改善効果の関係性を示す。各種強度や耐久性はどの箇所に存在する空隙を改質することで改善できるか以下に考える。割裂引張強度を向上させるためには 1) 骨材界面、2) 再生骨材自体、および 3) モルタル部分のいずれかの空隙量を改善することが重要である。またコンクリートの空隙量を改善するためには 2) 再生骨材自体の空隙量を改善させることが重要である。物質移動抵抗を向上させるためには 1) 骨材界面の空隙量を改善させることが重要であるが、3) モルタル部分、マトリックスの空隙量を改善させることにより、圧縮強度や乾燥収縮抵抗性を向上させることができる。

今後の展望として、C-S-H 系硬化促進剤のそれぞれの添加方法により、骨材界面、再生骨材自体、およびモルタル部分のそれぞれにおける空隙率や物質移動抵抗性がどの程度改善されているか不明確であることから、これらの解明を行い、C-S-H 系硬化促進剤による再生コンクリートの空隙量の改善のメカニズムを明らかにしたいと考える。

5. まとめ

再生コンクリートの空隙改善手法による強度や耐久性の改善効果を以下に示す。

- (1) C-S-H 系硬化促進剤をコンクリートに添加することで骨材界面の空隙量を改善し、物質移動抵抗性が改善される。多量添加により圧縮強度が改善される。
- (2) C-S-H 系硬化促進剤を骨材表面に付着させることで、骨材界面の空隙量を改善し、物質透過抵抗性が向上する。
- (3) C-S-H 系硬化促進剤の溶液でプレウエッティングすることで再生骨材自体の空隙率が改善され、コンクリートの空隙率を改善する。

表-3 改善する空隙と各種改善効果

改善目的の空隙		1) 骨材界面			2) 骨材自体		3) モルタル部分	
配合		ACX3%	ACX10%	ACX-S	ACX-D	CO ₂	ACX3%	ACX10%
再生コンクリートの物性	圧縮強度						○	
	割裂引張強度		△		○		△	
	乾燥収縮抵抗性						○	
	空隙				○			
	物質移動抵抗性	○			△		○	

- (4) 再生骨材を強制炭酸化させることで、割裂引張強度が向上する。また再生骨材自体の空隙率も改善され、コンクリートの空隙率が改善される。

謝辞

本研究の一部は 2019 年度コンクリート工学研究助成（研究代表者：伊代田岳史）にご支援いただいたことを付記する。

参考文献

- 1) 松田信広、伊代田岳史：異なる条件で改質させた再生骨材がコンクリートの強度性状に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集 Vol.39, No.1, 2017
- 2) 深澤英将、杉山知己、伊代田岳史：コンクリートの内部構造が C-S-H 系硬化促進剤に与える影響の検討、土木学会第 74 回年次学術講演会、V-301, 2019
- 3) 伊代田岳史、水野博貴、杉山知己：C-S-H 硬化促進剤の添加方法と空隙改質メカニズムの検討第 45 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、p.5-10, 2018
- 4) 三浦隆広、菊池雅史、小川明男、秋庭淳二：多孔質骨材を用いたコンクリートの空隙特性と力学的特性、日本建築学会構造系論文集第 547 号、p.1-8, 2001 年 9 月
- 5) 石橋 昌史、松下 博通、佐川 康貴、川端 雄一郎：再生細骨材を用いたモルタルの細孔構造および強度・中性化に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.28, No.1, 2006
- 6) 馬場勇介、井元晴丈、小山広光、近藤世紀：C-S-H 系硬化促進剤のブリーディング抑制メカニズムに関する検討、土木学会第 69 回年次学術講習会、平成 26 年 9 月
- 7) 小山広光、井元晴丈、小泉信一、土谷正：C-S-H ナノ粒子を含有する早強剤の特性と効果について、J-STAGE コンクリート工学 53 巻 7 号、2015
- 8) 高橋祐一、梶田佳寛：再生骨材中の付着モルタルが再生コンクリートの性質に及ぼす影響、日本建築学会構造系論文集第 75 巻第 653 号、1167-1172, 2010 年 7 月