

複数の改質方法による低品質再生骨材コンクリートの強度や耐久性発現メカニズムの検討

芝浦工業大学 大学院 理工学研究科 社会基盤学専攻

株式会社東京テクノ

株式会社竹中工務店 技術研究所

芝浦工業大学 工学部 先進国際課程 兼務 土木工学科

○湯屋 蓮

松田 信広

小島 正朗

伊代田 岳史

1. はじめに

日本では、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、脱炭素社会の実現に向け、様々な分野で取り組みがなされている。コンクリート分野では、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を代替利用し、ポルトランドセメントの使用量を抑制することで、コンクリートの材料起源によるCO₂排出量を大幅に低減したコンクリートの開発や、骨材へのCO₂固定など様々な技術が検討されている。特に骨材へのCO₂固定は、2016年に開催された国際会議ICEFにて、戦略的な行動をとることで、2030年において、世界規模で36億トンのCO₂を削減できる可能性を秘めていると示されている。筆者らのグループはこれまで、低品質再生粗骨材の改質を目的とした、CO₂ガスを用いた強制炭酸化による低エネルギー・低コスト型の再生粗骨材製造方法¹⁾を提案している。この技術は、コンクリートの炭酸化メカニズムに着目し、再生骨材にCO₂ガスを吹き付けることで骨材に付着しているモルタルを炭酸化させ、再生骨材自体の改質をはかるものであるが、これら炭酸化再生粗骨材を使用した場合でも再生粗骨材自体の品質は向上するものの、再生骨材コンクリートの品質は大きく向上していないのが現状である。一方、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粗骨材周囲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性が改質されること²⁾を報告している。そこで本検討では、再生細・粗骨材両方を用いたコンクリートにおいて、骨材の強制炭酸化とC-S-H系硬化促進剤の添加、さらにそれぞれを組み合わせることで低品質再生骨材コンクリートの改質方法と、その改質メカニズムの検討を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料および計画配合

本検討で使用した細骨材および粗骨材の物理的性状を表-1に示す。再生細骨材および再生粗骨材はL規格のものを使用し、比較のため普通骨材も使用した。表-2にコンクリートの計画配合を示す。配合は、水セメント比：50%、s/a：48%で一定とし、何も改質を施さない配合、

表-1 使用骨材の物理的性状

記号	骨材種類	炭酸化	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)
NS	普通細骨材	-	2.60	2.55	1.92	2.00
LS	再生細骨材	なし	2.24	2.00	12.01	8.60
LSC		あり	2.31	2.13	8.47	
NG	普通粗骨材	-	2.70	2.69	0.32	0.80
LG	再生粗骨材	なし	2.51	2.37	5.90	1.00
LGC		あり	2.55	2.45	4.35	

表-2 コンクリートの計画配合

配合名	改質方法	使用骨材		W/C (%)	s/a (%)	air (%)
		細骨材	粗骨材			
NSNG	-	NS	NG	50	48	4.5
LSLG	-	LS	LG			
LSLG-ACX	ACX					
LSCLG	S炭酸化					
LSCLG-ACX	S炭酸化+ACX	LSC	LG			
LSCLGC	S,G炭酸化					
LSCLGC-ACX	S,G炭酸化+ACX	LSC	LGC			

細骨材のみ炭酸化した配合と細骨材粗骨材両方を炭酸化した配合、また、それぞれにC-S-H系硬化促進剤を単位水量に対して10%添加した配合を検討した。

2.2 試験項目および試験方法

(1) 圧縮強度試験

φ100×200mmの円柱供試体を温度20℃にて材齢28日まで水中養生し、JISA1108に準拠して実施した。

(2) 透気試験

φ100×200mmの円柱供試体を28日間水中養生した後、高さ50mmのサイズで切断し、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、その透気量を計測し、透気係数を算出した。

(3) 空隙率試験

透気試験用に作製したφ100×50mm程度の供試体を切断終了後、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℃の乾燥炉に質量が恒量となるまで静置し、絶乾質量を計測し、アルキメデス法により空隙率を算出した。

(4) ビッカース硬さ試験

透気試験後の供試体から粗骨材を含む30mm×30mm×10mm程度の試験体を切り出し、供試体表面を研磨紙#120~15000を用いてターンテーブル上で鏡面仕上げし、

粗骨材界面のビッカース硬さを測定した。ビッカース硬さの測定には、微小硬さ試験機（荷重 0.9807N、試験力負荷速度 10 μ m/s）を使用し、粗骨材端部から 20 μ m 間隔で 200 μ m まで粗骨材界面と直交する線上で二点ずつ測定し、平均値として算出した。ビッカース硬さが 80N/mm² 以下の範囲を遷移帯と定義して遷移帯厚さを求めた。

3. 試験結果および考察

3. 1 圧縮強度

図-1 に空隙率と圧縮強度の関係を示す。いずれの配合においても、空隙率が低下するほど、圧縮強度が向上していることが分かる。LSLG の圧縮強度は、NSNG の圧縮強度のおよそ 5 割程度であった。これに対し、骨材の強制炭酸化および C-S-H 系硬化促進剤の添加により、圧縮強度が向上していることが分かる。中でも LSCLGC-ACX の圧縮強度は、NSNG の圧縮強度の 9 割程度まで向上したが、LSCLG-ACX の圧縮強度も大きく向上し、NSNG の 8.5 割程度まで向上した。

3. 2 透気係数

図-2 に空隙率と透気係数の関係を示す。いずれの配合においても、空隙率が低下するほど、透気係数が改善していることが分かる。LSLG の透気係数は、NSNG の透気係数と比較すると大きな結果となった。これに対し、骨材の強制炭酸化および C-S-H 系硬化促進剤の添加により、透気係数が改善していることが分かる。中でも LSCLGC-ACX の透気係数が最も大きく改善したが、LSCLG-ACX の透気係数も大きく改善した。

3. 3 遷移帯厚さ

図-3 にビッカース硬さを示す。いずれの配合においても、骨材界面から数十 μ m の幅でビッカース硬さが低い脆弱な遷移帯領域が存在し、さらに離れた領域には、骨材の影響を受けないビッカース硬さがある程度均一なバルク部分が存在していることが分かる。ここで各配合のおよその遷移帯厚さは、NSNG:40 μ m、LSLG:120 μ m、LSLG-ACX:80 μ m、LSCLG:100 μ m、LSCLG-ACX:60 μ m、LSCLGC:80 μ m、LSCLGC-ACX:60 μ m であった。再生骨材は吸水率が高いことが要因となり、硬化体としたときに骨材内部の水分が骨材界面に滲出し、遷移帯が粗大化したと考えられる。一方で、骨材の強制炭酸化や C-S-H 系硬化促進剤の添加を行うことで遷移帯厚さが小さくなっていることが分かる。骨材の強制炭酸化では、骨材の吸水率が低下し、硬化体となった後に滲出する水分量が減少したことにより遷移帯厚さが縮小したと考えられる。また C-S-H 系硬化促進剤の添加では、C-S-H ナノ粒子の導入により、遷移帯に存在する空隙が緻密化され、遷移帯厚さが縮小したと考えられる。LSCLG-ACX や LSCLGC-ACX では、骨材の強制炭酸化と C-S-H 系硬化促進剤の添加の組み合わせにより、遷移帯厚さが大きく

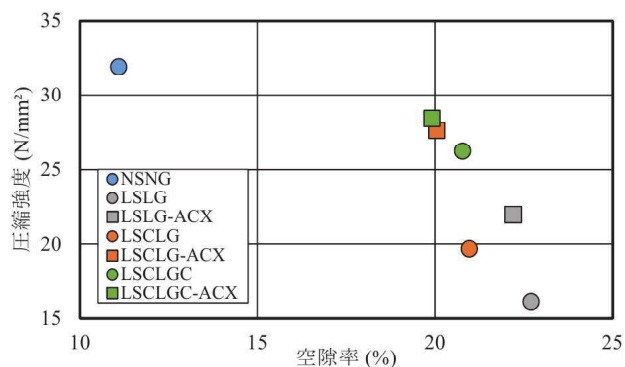


図-1 空隙率と圧縮強度の関係

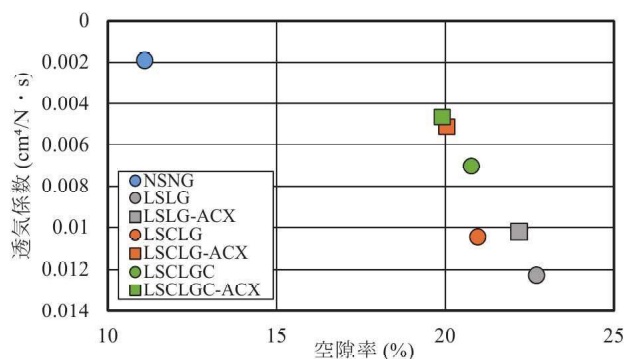


図-2 空隙率と透気係数の関係

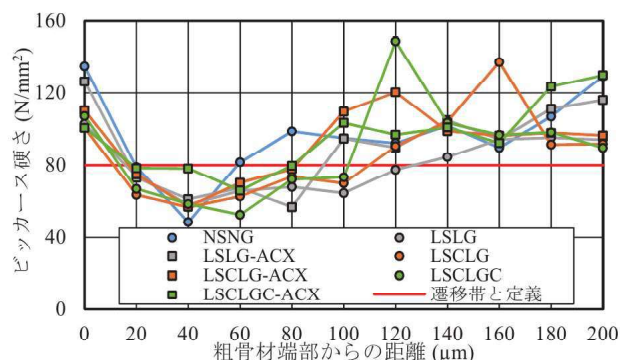


図-3 ビッカース硬さ

縮小し、強度や透気係数が大きく改善したと考えられる。

謝辞

この成果の一部は、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 (JPNP16002) によるものである。

【参考文献】

- 1) 松田信広ほか: 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
- 2) 深澤英将ほか: 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