

エコセメントクリンカーを細骨材に使用したモルタルの遮塩性に関する研究

太平洋セメント(株) 正会員 ○林 建佑 細川 佳史
 東北大学大学院 正会員 宮本 慎太郎 皆川 浩 久田 真
 東北大学大学院 学生会員 石川原 光太郎

1. はじめに

著者らは、将来的に予想されるセメント需要の減少に伴うセメント業界における廃棄物活用量の減少および最終処分場における埋め立て処分量の増加を抑制することを目的に、セメントクリンカーのセメント以外での活用方法を検討しており、その一環として、骨材への適用を試みている。既往の研究^{1,2)}では、普通ポルトランドセメントクリンカー(NCL)を骨材として使用することで、モルタルやコンクリートに中性化抵抗性や遮塩性の向上といった物質移動抵抗性面における利点を付与できることが確認されている。一方、特殊な骨材を使用することにより遮塩性を高める方法として、カルシウムアルミネート系(CA)骨材の使用が提案³⁾されており、外部から塩化物イオンの供給がある場合、骨材周囲にフリーデル氏塩を形成することで内部への浸透を抑制することを考察している。このメカニズムに基づくと、アルミネート相(C₃A)が多いポルトランドセメント系クリンカーを骨材とした場合にも、同様の効果が得られるものと考えられる。このような効果は、セメントでは既往の研究⁴⁾にて確認されており、C₃Aが多いセメントでは、普通ポルトランドセメントより、塩化物イオンの固定能が高いことが報告されているものの、このような鉱物組成のセメントクリンカーを骨材として使用した場合の効果に関しては、検討されていない。

そこで、本研究では、C₃AがNCLより多いエコセメントクリンカー(ECL)を細骨材として用いたモルタル硬化体で遮塩性を評価した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびモルタル配合

実験に使用したセメントクリンカーは、NCLおよびECLである。それぞれのクリンカーの粉末X線回折リートベルト法により求めた鉱物組成を表1に示す。表のように、ここで用いたセメントクリンカーは、ユーライト(C₃S)はほぼ同量であるものの、ビーライト(C₂S)やC₃Aおよびフェライト相(C₄AF)の含有量が異なるものである。また、モルタル試験用のセメントには、普通ポルトランドセメント(密度: 3.17g/cm³, ブレーン比表面積: 3080cm²/g)を水には上水道水を用いた。細骨材には、JIS A 5210に定められた標準砂(SS, 絶乾密度: 2.64g/cm³)とクリンカーを粗砕・分級によりSS同様の体積割合に粒度分布を調整したNCL(絶乾密度: 2.66g/cm³)およびECL(2.78g/cm³)の計3種類を用いた。これらの材料を用いて、表2に示すようなW/C=0.5, S/C=2.5のモルタルを作製した。

2.2 評価項目

1) 圧縮強度

表2の配合のモルタルをφ50×100mmの型枠に打ち

表1 使用したクリンカーの鉱物組成

種類	鉱物組成 (%)					
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	f.CaO	f.MgO
NCL	54.1	25.2	9.2	11.2	0.0	0.3
ECL	55.7	16.4	11.7	15.0	0.3	0.8

表2 モルタルの配合

細骨材 種類	W/C	S/C	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)
SS	0.5	2.5	284	567	1418
NCL			285	569	1423
ECL			291	583	1457

込み、材齢1日の時点で脱型し、材齢7および28日まで水中養生したものを圧縮強度用の円柱供試体とした。圧縮強度の測定は1水準につき3本行い、その平均値を圧縮強度とした。

2) 遮塩性

遮塩性の評価は、塩化ナトリウム溶液への浸せき試験後に電子線マイクロアナライザー(EPMA)を用いて求めた塩化物イオンの浸透深さにより行った。浸せき用供試体は、材齢28日まで水中養生を行った円柱供試体の上面と底面を約10mmずつ切断した後、上面以外の面をエポキシ樹脂で包埋した。浸せき溶液は3%の塩化ナトリウム溶液とし、浸せき期間は28日とした。浸せき期間終了後の供試体から、上面(曝露面)を一片とする40×40×10mmの板状試料を切り出し、水和停止・乾燥後、研磨・カーボン蒸着を施しEPMA用分析試料とした。EPMA分析は、JSCE-G 574-2013に準拠し、加速電圧15kV、試料電流200nA、ピクセルサイズ100μmに設定し、40×40mmの範囲における塩化物イオンのマッピング分析から塩化物イオン浸透深さを求めた。またこの際、塩化物イオン濃度は比例法により求めた。

3) 空隙径分布

水銀圧入式ポロシメーター(MIP)を用いて、モルタルの空隙径分布を測定した。測定用試料には、材齢28日の円柱供試体内部から5mm角の立方体試料を切出し、多量のアセトンにて水和を停止した後、真空乾燥および凍結乾燥で十分に乾燥させたものを使用した。

4) 結合水量

熱重量分析(TG)により、モルタルの結合水量を求めた。測定用試料は材齢28日MIP用の試料と同様の5mm角の試料に対して水和停止を行い、7日以上R.H.11%デシケーター内で乾燥し、150μm以下に粉砕したものを使用した。

キーワード: エコセメントクリンカー クリンカー骨材 圧縮強度 遮塩性 EPMA

連絡先: 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL 043-498-3909 FAX 043-498-3832

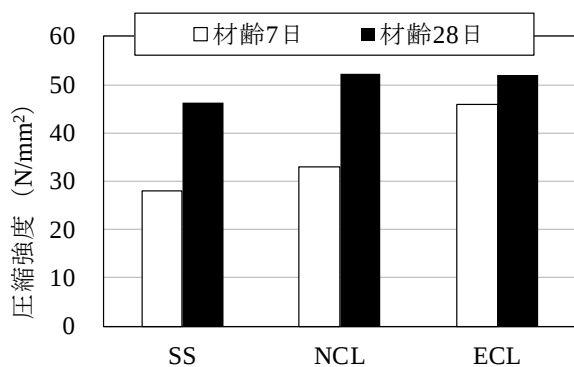


図1 モルタルの圧縮強度

3. 結果および考察

3.1 圧縮強度

図1に、圧縮強度試験結果を示す。図のように、クリンカー細骨材を使用することで、材齢7日、28日ともに、SSモルタルと比較し強度が向上することが認められた。また、クリンカー種類に着目すると、28日強度は、NCLとECLでほぼ同等であったものの、7日強度はECLで著しく高いことが分かった。これは、ECLには、材齢初期の反応性が高いC₃AがNCLよりも多く含まれていることが一因と考えられた。

3.2 遮塩性

図2にマッピング分析結果より求めた各細骨材を用いたモルタルの塩化物イオン濃度分布を示す。なお、図の作成に際して、セメントペースト部分のみで議論できるようCaやSi濃度の分析結果を用いて、骨材組成の箇所を排除した。図から分かるように、クリンカー細骨材を使用することで、SSモルタルと比較し塩化物イオン浸透深さを大幅に低減できており、遮塩性を付与できることが分かった。また、クリンカー種類に着目すると、わずかな差ではあるものの、ECLでNCLよりも塩化物イオン浸透深さを低減できることが分かった。

3.3 空隙径分布と結合水量

図3に、MIPにより求めた各モルタルの材齢28日における空隙径分布を示す。図から分かるように、クリンカー細骨材を使用することで、SSモルタルで認められる100nm以上の空隙を大幅に低減できていることが認められた。この空隙の減少は、細骨材とセメントペーストの境界部分の緻密化に起因することを著者らの既報⁵⁾にて明らかにしているが、ECLでも同様の効果を確認することができた。

表3にTGにより求めた結合水量を示す。結合水量は、試料量から1050℃までの減量を差し引き乾燥ベースとし、常温から200℃までの減量を用いて計算により求めた。表のように、NCLやECLの結合水量は、SSモルタルと比較し多く、クリンカー骨材の使用により水和物が増加することが推察された。また、NCLとECLの結合水量に差は認められなかった。

これらの結果から、クリンカー細骨材の使用による圧縮強度や遮塩性の向上は、主に骨材周囲の水和物量の増加と、それに伴う比較的大径の空隙の減少に起因するものと推察された。C₃A量の増加による水和物の変化と遮塩性への影響の関係については、より詳細な相組成の解析が必要であると考えられた。

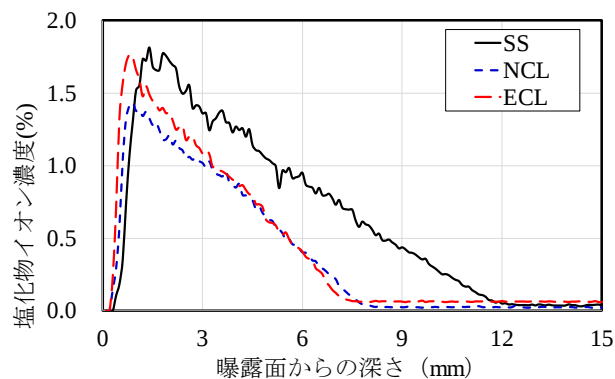


図2 塩化物イオン濃度分布

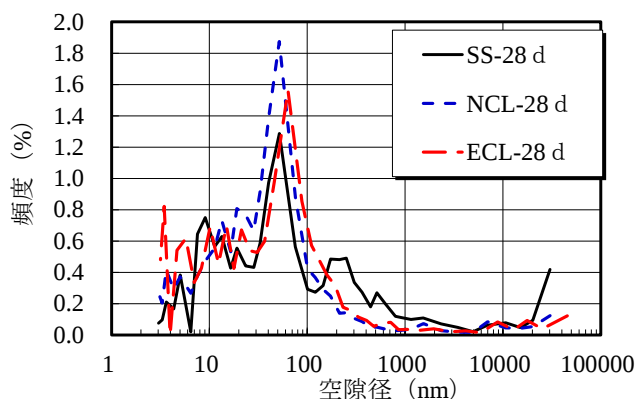


図3 空隙径分布

表3 結合水量

	SS-28d	NCL-28d	ECL-28d
結合水量(%)	3.23	4.75	4.71

4. まとめ

・NCLおよびECLを細骨材として使用することで、モルタルの圧縮強度や遮塩性を向上させることができた。圧縮強度の増進効果は、特に初期ではECLを用いた場合に大きかった。また塩化物イオン浸透深さの低減効果は、わずかにNCLよりECLが大きかった。

・クリンカー骨材の使用による圧縮強度や遮塩性の向上は、主に骨材周囲の水和物量の増加と、それに伴う比較的大径の空隙の減少に起因するものと推察された。

【参考文献】

- 1) 根本雅俊ほか：クリンカー骨材を用いたモルタルおよびコンクリートの基本性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.351-356 (2016)
- 2) 宮本慎太郎ほか：細骨材として使用したセメントクリンカーがモルタルの物性に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，pp.169-175 (2016)
- 3) 伊藤慎也ほか：カルシウムアルミネート系骨材による遷移帯の改質効果，材料，Vol.65，No.11，pp.787-792 (2016)
- 4) 平尾宙ほか：塩化物イオンの固定に及ぼすセメント組成の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.855-860 (2004)
- 5) 林建佑ほか：クリンカー骨材を使用したモルタルの物性ならびに遷移帯改善効果に関する研究，太平洋セメント研究報告，No.173，pp.19-26 (2017)