

異なる性能のクリンカー骨材の使用がモルタルの圧縮強度に及ぼす影響

東北大学  
東北大学  
太平洋セメント（株）

学生会員 ○ 石川原 光太郎  
正会員 宮本 慎太郎 皆川 浩 久田 真  
正会員 林 建佑 細川 佳史

1. はじめに

多量の廃棄物の排出により、近年、最終処分場の不足が深刻化している。一方、セメント産業は廃棄物をセメントクリンカーの原料として活用するなどの役割を担っているが、セメント品質の観点から廃棄物使用量は限界に近づいている。したがって、今後も廃棄物の受け入れ量を維持していくためには、セメントクリンカーの他の活用方法、例えば骨材としての適用を検討する必要がある。ここで、セメントクリンカーを骨材として用いた場合、骨材自身の水和反応により遷移帯が緻密化されるなどセメント硬化体の性能の向上につながる事が報告されている<sup>1)</sup>。

本研究では、標準砂、普通ポルトランドセメントクリンカーのほか、エコセメントクリンカーや原料に廃棄物をより多く利用したビーライトゲーレナイトクリンカーを細骨材として用いてモルタルを作製し、これらの圧縮強度を比較して各種クリンカーの細骨材としての適用性を検討した。

2. 実験概要

2.1 配合と使用材料

本研究では、水セメント比 50 %、細骨材セメント比 2.5 のモルタルを作製した。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、クリンカーの種類の違いがモルタルの圧縮強度に及ぼす影響を評価する目的で、JIS R 5201 の試験で使用する標準砂（以下 SS）、普通ポルトランドセメントクリンカー（以下 NCL）、エコセメントクリンカー（以下 ECL）、鉱物組成が異なる 2 種類の ビーライト・ゲーレナイト系クリンカー（以下 V1CL および V2CL）の 5 水準とした。各種クリンカーの絶乾密度、吸水率および鉱物組成を表-1 に示す。なお、これらのクリンカー細骨材は、粉碎・分級により SS と同等の粒度に調整した。

表-1 クリンカーの絶乾密度、吸水率および鉱物組成

| 種類   | 絶乾密度<br>[g/cm <sup>3</sup> ] | 吸水率<br>[%] | 含有率[%]           |                  |                   |                  |                   |       |
|------|------------------------------|------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------|
|      |                              |            | C <sub>3</sub> S | C <sub>2</sub> S | C <sub>2</sub> AS | C <sub>3</sub> A | C <sub>4</sub> AF | f.CaO |
| NCL  | 2.66                         | 4.20       | 54.2             | 25.2             | 0.0               | 9.2              | 11.2              | 0.0   |
| ECL  | 2.78                         | 3.39       | 55.6             | 16.5             | 0.0               | 15.0             | 0.8               | 0.3   |
| V1CL | 2.94                         | 2.38       | 0.0              | 75.7             | 19.2              | 0.0              | 5.1               | 0.0   |
| V2CL | 2.88                         | 1.35       | 0.0              | 47.7             | 52.1              | 0.0              | 0.1               | 0.0   |

2.2 供試体作製

本研究では、JIS R 5201 に準拠してモルタルを練り混ぜ、練り混ぜたフレッシュモルタルはブリーディングが収まるまで練り返し、その後、内寸法φ50×100mm のプラスチック製使い捨て型枠に打ち込んだ。打ち込んだモルタルは 24±2 時間後に脱型し、Ca(OH)<sub>2</sub> 飽和水溶液中で最大 56 日間の水中養生を施した。なお、材齢 1 日の測定に関しては、脱型直後の水中養生を施していない供試体を使用した。

2.3 測定項目

材齢 1, 3, 7, 14, 21, 28, 56 日の供試体を用いて圧縮強度試験を行い、各水準 3 回の測定結果の平均をその供試体の圧縮強度とした。また、材齢 1, 28, 56 日の供試体については、水銀圧入式ポロシメータ（MIP）により総空隙率および細孔径分布を測定した。ここで、MIP の測定については各水準 1 回ずつとした。なお、MIP 測定試料は、円柱供試体を約 5mm 角にカットして採取し、アセトンを用いた水和停止処理を施したあと、真空乾燥を 3 日間したのちに凍結乾燥（設定温度-80℃）を施して十分に乾燥させた試料を使用した。

3. 結果および考察

図-1～図-3 に各材齢の圧縮強度、50nm - 2μm 領域の空隙率およびこの領域における空隙の減少率、圧縮強度と 50 nm - 2 μm 領域の空隙率の関係を示す。

図-1 より、すべての水準で材齢の経過とともに圧縮強度は増加した。また、V1CL と V2CL の圧縮強度は

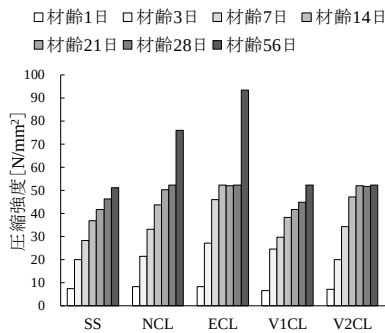


図-1 圧縮強度

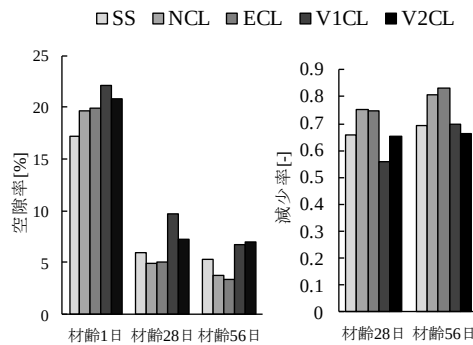


図-2 空隙径 50 nm - 2 μm の空隙率と減少率

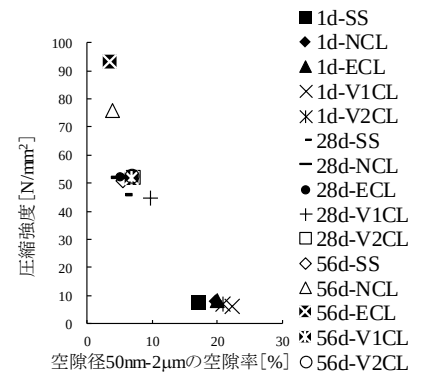


図-3 圧縮強度と空隙径 50 nm - 2 μm の空隙率の関係

SS のそれと同程度となり、NCL と ECL の圧縮強度は SS と比較して大きくなった。特に材齢 56 日における NCL と ECL に関しては、SS、V1CL、V2CL を使用したモルタルと比較して圧縮強度は著しく大きくなった。

図-2 より、空隙径 50 nm - 2 μm の範囲の空隙に着目すると、この範囲の空隙率がすべての水準で減少したことが認められる。ここで、空隙径 50 nm - 2 μm の空隙は大部分がセメントペーストと骨材界面の遷移帯を構成する空隙であることが報告されており<sup>2)</sup>、この範囲の空隙について、材齢 1 日を基準に減少率を算出すると、材齢 56 日の減少率については NCL と ECL がそれぞれ 0.81, 0.83 と他の水準と比較して大きいことがわかった。一方で、V1CL、V2CL のそれは SS と同程度であった。

図-3 に示すように、空隙径 50 nm - 2 μm の空隙と圧縮強度の関係に着目すると、この領域の空隙が少ないほど圧縮強度が大きくなる結果が得られた。この範囲の空隙は前述のとおり遷移帯を構成する空隙を含んでいるため、遷移帯の緻密化によって圧縮強度が増大した可能性が考えられる。特に、材齢 56 日の NCL と ECL おいて、図-2 に示すように、この領域の空隙の減少率が高いことから、図-1 に示すように、圧縮強度が SS と比較して大きくなったと考えられる。

50 nm - 2 μm の空隙が減少した要因として、クリンカー骨材自身の水和反応の影響が考えられる。ここで、クリンカー骨材は自身が水和反応を起こすことが報告されており<sup>3)</sup>、NCL、ECL はクリンカー骨材自身の水和反応によって骨材界面の液相中で Ca や Si、Al 濃度が高くなって水和反応が促進され遷移帯が緻密になった可能性が考えられる。一方、V1CL、V2CL は同様の現象が認められるものの、NCL、ECL と比較して、この領域

の空隙の減少率は大きくない。これは、表-1 に示すように、V1CL と V2CL は水和活性の高い  $C_3S$  や  $C_3A$  を含んでおらず、反応性の低い  $C_2S$  や  $C_2AS$  が主要鉱物であるためと考えられる。

以上より、クリンカー細骨材を用いた供試体は、水和活性の低いクリンカーを使用した場合には標準砂を用いた場合と同程度の圧縮強度となり、水和活性の高い NCL や ECL などのクリンカーを細骨材として用いた場合には、標準砂を用いた場合と比較して、遷移帯が緻密化され圧縮強度が大きくなる可能性が示唆された。

#### 4. 結論

骨材としてクリンカーを用いた場合、標準砂を用いた場合と比較して圧縮強度が同程度以上になることが認められた。また、クリンカー骨材の使用により圧縮強度が向上する理由としては、空隙径 50 nm - 2 μm の範囲における空隙が減少することが一因と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 宮本ら：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, 2015
- 2) Uchikawa, H : Similarities and discrepancies of hardened cement paste, mortar and concrete from standpoints of composition and structure, Engineering Foundation Conference 'Advances in the Production and utilization of cement-based materials', at Trout lodge, Potosi, Missouri, USA, Vol.1, pp.271-310, 1988
- 3) 林ら：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第 173 号, pp19-26, 2017