

フライアッシュとクリンカー細骨材の相互補完効果を期待したモルタルの諸物性の評価

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

1. はじめに

セメント産業では廃棄物受け入れ量を維持するための方策としてセメントの中間生成物であるセメントクリンカーの骨材としての使用を検討している。既報¹⁾では、セメントクリンカー細骨材（以下、クリンカー細骨材）が圧縮強度の増加や塩化物イオンの実効拡散係数の低減に寄与することなど、いくつかの知見が報告されている。ただし、クリンカー細骨材の使用により、アルカリシリカ反応（ASR）に影響を及ぼすアルカリ量の増加や温度ひび割れなどに影響を及ぼす水和熱の増加といったデメリットも想定される。他方で、混和材の一つであるフライアッシュ（FA）はセメントに置換することでASRや水和熱は抑制できるが、初期強度の低下や凝結の遅延が生じることが想定される²⁾。

以上を踏まえ、本研究ではクリンカー細骨材とFAの両者が有するデメリットを両者の併用によって相互補完する可能性を期待して、両者を併用したモルタルの水和発熱特性と初期強度発現性、ASRによる膨張特性について検討した。

2. 実験概要

2.1 モルタルの使用材料と水準および配合

簡易断熱試験および圧縮強度試験では、セメントとして普通ポルトランドセメント（OPC）、混和材としてFAを使用した。また、細骨材として普通ポルトランドセメントクリンカー（CL細骨材）、および比較対象として石灰石砕砂（LS細骨材）を使用した。なお、セメントあるいは細骨材の置換率の違いが相互補完効果に及ぼす影響についても評価する目的で、各水準でそれぞれの置換率を変化させた。表-1にモルタルの配合を示す。さらに、モルタル膨張量試験では、上記の材料とともに細骨材として反応性のある安山岩の砕砂（An細骨材）を使用した。細骨材の組み合わせについて、LS細骨材とAn細骨材の組み合わせ（LS/Anシリーズと表記）

表-1 モルタルの配合

記号	W/B(%)	S/B	FA置換率 (vol %)	CL置換率 (vol %)
LS-OPC	54.3	2.21	0	0
LS-FA15%	56.4	2.29	15	0
LS-FA30%	58.7	2.38	30	0
LSCL-OPC	52.7	2.17	0	50
CL-OPC	51.2	2.13	0	100
CL-FA-30%	55.3	2.30	30	100

およびCL細骨材とAn細骨材の組み合わせ（CL/Anシリーズと表記）を用意し、それぞれにおいてAn細骨材の混合率を変化させた。また、LS/AnシリーズとCL/Anシリーズのそれぞれに対して結合材にFAを15vol%置換した水準を用意し、FAによる膨張抑制効果についても検討した。

2.2 試験方法

(1) 簡易断熱温度上昇試験

練混ぜ後のモルタルを内寸196×130×124mmの発砲スチロール製簡易断熱容器に打ち込み、モルタル中心部に熱電対を埋設して温度履歴を計測した。計測は材齢7日程度まで行い、モルタル中心部の温度上昇が十分に収束したことが確認できた時点で計測を終了した。

(2) 圧縮強度試験

圧縮強度はJIS R 5201に規定される強さ試験に準拠して材齢1, 3, 7, 28日において測定した。

(3) モルタル膨張量試験

JIS A 1146に準拠し、練混ぜ後のモルタルを寸法40×40×160mmの型枠に打ち込み、24±2時間後に脱型した後、温度40℃・R.H.95%以上の環境に所定の日数静置して長さ変化を測定した。

3. 実験結果・考察

3.1 簡易断熱温度上昇試験および圧縮強度試験

図-1に簡易断熱温度上昇試験の結果を、図-2に圧縮強度試験の結果をそれぞれ示す。図-1および図-2より、LS-OPCに対してFAをそれぞれ15, 30%置換したLS-FA15%とLS-FA30%に着目すると、FAの置換率

キーワード クリンカー細骨材, フライアッシュ, 圧縮強度, アルカリシリカ反応(ASR), 水和発熱挙動

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科 TEL 022-795-7427

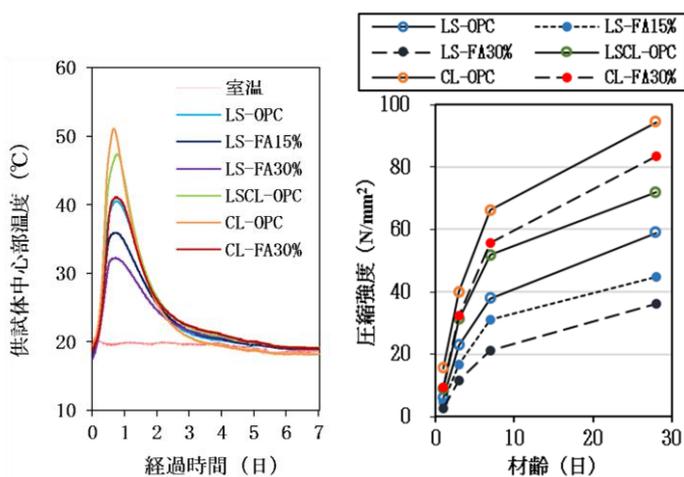


図-1 温度履歴の比較

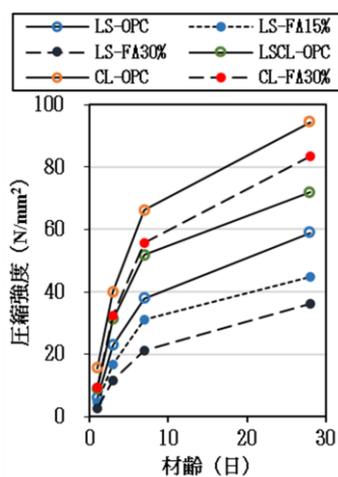


図-2 圧縮強度の比較

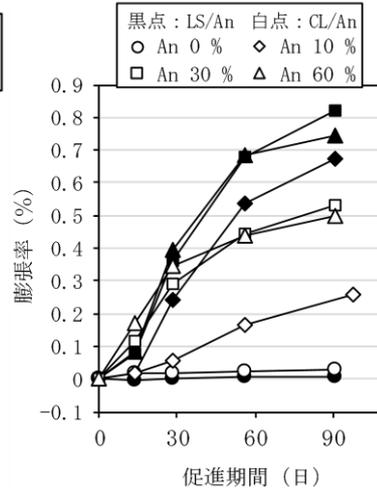


図-3 膨張率の比較

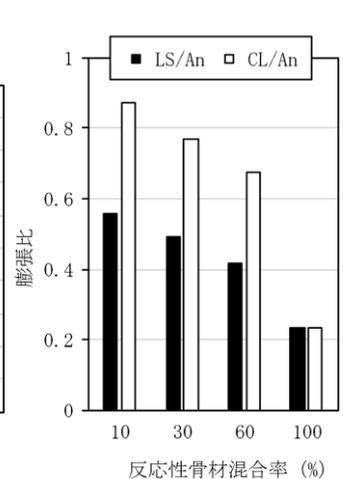


図-4 膨張比の比較

の増加に応じて最高到達温度と圧縮強度が低下していることがわかった。一方で、LS-OPCに対してCL細骨材をそれぞれ50、100%置換したLSCL-OPCとCL-OPCに着目すると、CL細骨材の置換率の増加に応じて最高到達温度が高くなり圧縮強度も増加することがわかった。続いて、FAおよびCL細骨材を使用していないLS-OPCと、細骨材に対してCL細骨材を100%置換し結合材に対してFAを30%置換した水準であるCL-FA30%の結果を比較してみると、これら2つの実験系において温度履歴は同様の挙動を示しているのに対し、CL-FA30%の圧縮強度はLS-OPCの圧縮強度の約1.4倍まで増進していることがわかった。

以上を整理すると、CL細骨材の有するデメリットである水和発熱量の増加はFAを使用することで抑制することができ、FAのデメリットである初期強度の低下は、CL細骨材を使用することで補完できることを確認した。さらには、FAとCL細骨材を併用した場合、CL細骨材の使用に伴う水和熱の増加をCL細骨材無使用の場合と同程度まで抑制することができ、圧縮強度についてはFA無混和の場合以上の強度を得ることができることを確認した。

3. 2 ASRによるモルタル膨張量試験

LS/AnシリーズおよびCL/Anシリーズの膨張率の比較結果を図-3に示す。図-3より、An細骨材の混合率が同じ実験系を比較すると、CL細骨材を使用した実験系ではLS細骨材を使用したそれと比較して膨張率が小さくなった。この結果について、CL細骨材の使用に伴うアルカリ量増加の影響は比較的小さく、CL細骨材自身の水和に伴う物質移動抵抗性の向上により液状水

の移動が拘束され、アルカリシリカゲルに供給される水の量が減少し膨張率が小さくなったためと考察した。

最後に、LS/AnシリーズおよびCL/Anシリーズの材齢91日における膨張率について、FA無混和時の膨張率に対するFA15%混和時の膨張率の比である膨張比の比較結果を図-4に示す。膨張比が小さいほどFAによる膨張抑制効果が大きくなるが、図-4より、LS細骨材と比較してCL細骨材は膨張比が大きくなっており、CL細骨材を使用するとFAによる膨張抑制効果は小さくなる結果となった。

以上より、本研究で定義した膨張比によれば、CL細骨材を使用するとLS細骨材を使用した場合と比較してASRによる膨張を抑制できるが、FAの持つ膨張抑制効果は小さくなることがわかった。

4. 結論

モルタルの発熱性状と初期強度発現性について、FAとCL細骨材を併用することで互いのデメリットを補完することができ、両者の併用がこれらの性能にもたらす効能は非常に大きいことを見出した。なお、ASRによる膨張については、CL骨材の使用により膨張量は抑制できる傾向にあるものの、FAとの併用による膨張抑制の寄与についてはCL細骨材を使用していないものと比較して小さくなることがわかった。

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) 吉越盛次：混和材としてのフライアッシュに関する研究，土木学会論文集，No. 31，pp. 1-62，1955