

低発熱形セメントモルタルの強度・水和特性に及ぼす高温履歴および練上がり温度の影響

太平洋セメント株式会社 正会員 ○大野 拓也 面来 洋児 藤澤 竜

太平洋セメント株式会社

玉森 俊裕 多田 克彦

1. はじめに

コンクリート標準示方書における暑中期のコンクリート打込み温度の上限は 35℃以下を標準としているが、近年の気温上昇に伴ってこの上限値を超える可能性が高まっている¹⁾。また、単位セメント量が多い配合のコンクリートや構造体寸法の条件によっては、構造体内部の温度が極めて高温になることも考えられ、その結果、内部組織の変化やこれに伴う強度発現性の停滞等が懸念される。しかしながら、これらに関連する検討の多くは、普通セメントを用いたものが多く²⁾、³⁾、低発熱形セメントを用いた検討例は少ないのが現状である。

本研究では、練上がり温度が 35℃を超える場合を想定し、中庸熱および低熱ポルトランドセメントを用いたモルタルの練上がり温度、高温履歴が強度、細孔径分布、セメントの反応率に及ぼす影響を評価した。

2. 実験概要

表-1 に使用材料を示す。セメントには、中庸熟ポルトランドセメント、低熟ポルトランドセメントを用い、細骨材にはセメント強さ試験用標準砂、混和剤には高性能 AE 減水剤を用いた。モルタルの水セメント比(W/C)は 45%とし、砂セメント比は 2.5 とした。モルタルの目標性状は 0 打フロー 220 ± 20 mm、空気量 3.0%未満となるように混和剤の添加量を調整した。モルタルの練混ぜは 30℃・R.H.70%の試験室内で行い、練上がり温度が 35 $\pm$ 1℃、40 $\pm$ 1℃となるように練混ぜ水の温度を調整した。

図-1 に高温履歴養生のパターンを示す。封緘状態にて材齢 12 時間まで練上がり温度を保持し、材齢 1 日で最高温度が 65℃もしくは 80℃となるように昇温した。最高温度で 6 時間保持した後、材齢 7 日で 20℃となるように降温し、7 日以降は 20℃封緘養生した。なお、比較用に 20℃・R.H.80%の試験室内でモルタルの練混ぜを行い、20℃一定で封緘養生した供試体も作製した。試験項目はモルタル供試体(φ50mm×100mm)の圧縮強度、水銀圧入法による細孔径分布、セメント鉤

物の反応率とした。反応率については、モルタルと同様の練上がり温度、高温履歴養生を与えた硬化セメントペーストを用いて、XRD/リートベルト法で水和組成物の確認および定量分析を行った。X線源にはCu-K α を用い、XRDの測定範囲は $2\theta=5^{\circ}\sim 65^{\circ}$ とした。測定試料に内部標準物質として $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を内割りで10mass%添加し、各鉱物相の含有量を定量し、未反応鉱物量から反応率を求めた。

3. 実験結果および考察

図-2 にモルタルの圧縮強度を示す。なお、圧縮強度には 4 本の供試体の平均値を用いており、誤差範囲は $\pm 2\sim 3\%$ 程度であった。高温履歴養生で比較すると、中庸熱セメントを用いたモルタル(M)および低熱セメントを用いたモルタル(L)の材齢 7 日強度は、最高温度が高いほど大きくなったが、材齢 28 日時点では、練上がり温度、最高温度によらず同程度であった。また、 20°C 養生の強度は、いずれのセメントでも材齢 28 日時点で $10\sim 20\%$ 程度低かった。

図-3 に材齢 28 日における M および L の細孔径分

表-1 使用材料

材料	記号	物理的性質など
セメント	MC	中庸熟ポルトランドセメント/ 密度:3.21g/cm ³ 、比表面積:3250cm ² /g
	LC	低熟ポルトランドセメント/ 密度:3.22g/cm ³ 、比表面積:3350cm ² /g
細骨材	S	セメント強さ試験用標準砂
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤/ポリカルボン酸 エーテル系

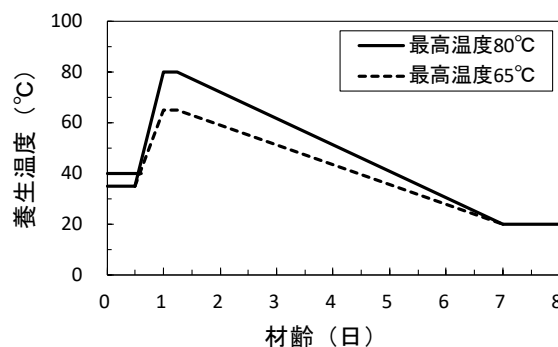


図-1 高温履歴養生のパターン

キーワード 練上がり温度, 高温履歴, 圧縮強度, 低発熱形セメント, 暑中コンクリート

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. 043-498-3915

布を示す。高温履歴養生の練上がり温度、最高温度で比較すると、いずれのセメントにおいても、総空隙量には大差なく、20℃養生と比較すると総じて少なかった。また圧縮強度との相関が高いとされる 50nm 以上の細孔量⁴⁾で比較すると、高温履歴養生は 20℃養生よりわずかに多くなったが、練上がり温度および最高温度によらず同程度であり、圧縮強度の結果と対応していた。普通セメントを用いた既往の研究では、練上がり温度または最高温度が高くなると、総空隙量および粗大な空隙割合が増加することが報告されているが²⁾、⁵⁾、低発熱形セメントを用いた本検討において、その傾向はほとんど認められなかった。

図-4 に材齢 7 日、28 日における C_2S の反応率を示す。 C_2S の反応率はいずれのセメントにおいても、温度が高いほど高くなっており、高温履歴養生によって C_2S の水和が促進されたものと推察される。これについては、 C_2S の活性化エネルギーが大きいこと、高温履歴養生下においても C_2S の反応による内部水和物層の厚さが薄く、反応速度、反応量が低下しないことなどが考えられる⁵⁾。一方、初期高温履歴の前置き時間、昇温速度、最高温度の条件によっては、長期的な C_2S の水和率が低下するとの報告もあることから⁶⁾、温度条件、W/C 等の観点から詳細に検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、中庸熱および低熱ポルトランドセメントを用いて、水セメント比 45%，練上がり温度 35℃、40℃、最高温度 65℃、80℃となる高温履歴養生下におけるモルタル(M, L)の圧縮強度、細孔径分布、セメントの反応率を評価した。その結果、練上がり温度 35℃および 40℃における M, L の材齢 28 日強度は、いずれの最高温度においても同程度であり、練上がり温度の差は認められなかった。また、M, L の細孔径分布は、いずれの練上がり温度、最高温度においても明確な差は認められず、 C_2S の反応率も温度が高いほど高くなっており、圧縮強度の結果と対応していた。

【参考文献】

- 1) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.172-174 (2017)
- 2) 中山莉沙ほか：温度履歴および練上がり温度がセメント硬化体の強度、細孔構造およびセメント水和反応に及ぼす影響，第 70 回セメント技術大会講演要旨，pp.66-67 (2016)
- 3) 熊野知司ほか：初期高温履歴が暑中コンクリートの

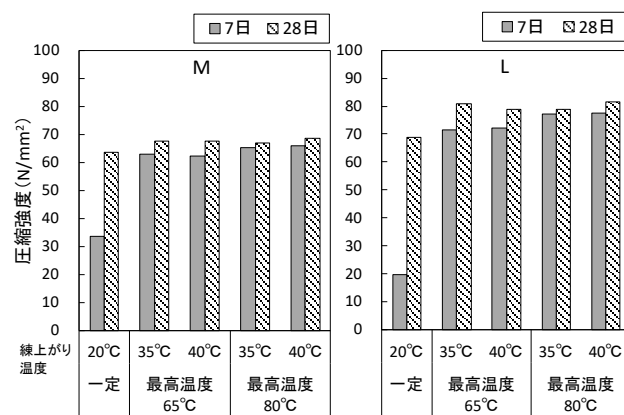


図-2 モルタルの圧縮強度

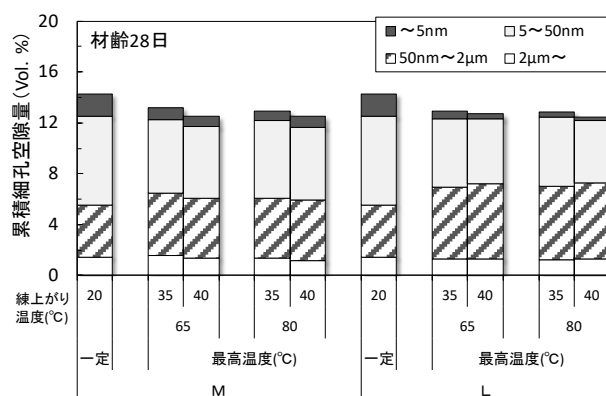


図-3 細孔径分布

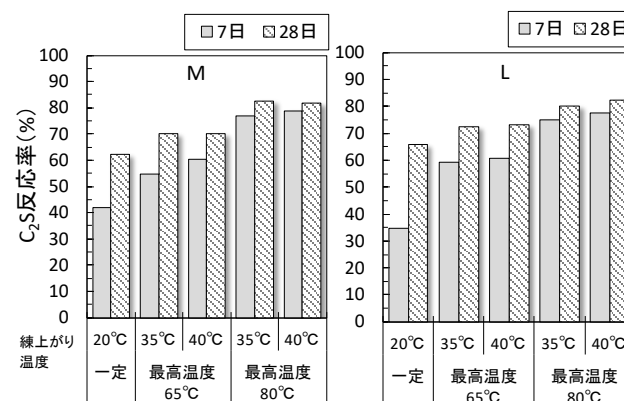


図-4 C_2S の反応率

強度発現に与える影響，土木学会第 73 回年次学術講演会，pp.41-42 (2019)

- 4) 内川浩ほか：混合セメントモルタル及びコンクリートの硬化体構造が強度発現性状に及ぼす影響，第 44 回セメント技術大会講演要旨，pp.398-403 (1990)
- 5) 森本丈太郎：高温養生されたポルトランドセメントの強度発現に関する研究，東京大学博士論文，pp.96-101 (2000)
- 6) 杉山央ほか：セメントの水和反応および微細組織形成に及ぼす初期高温履歴の影響，セメント・コンクリート論文集，日本建築学会構造系論文集，第 515 号，pp.23-30 (1999)