

低水結合材比モルタルの圧縮強度増進性状に関する一考察

大成建設(株) 正会員 ○木ノ村幸士
 東京大学大学院 正会員 石田 哲也

1. はじめに

低熱ポルトランドセメント (LPC) の圧縮強度増進性状には、特に温度時間依存性が見られるとの報告がある^{1),2)}。本検討では、フライアッシュ (FA) を混和した 2 種類の低水結合材比 LPC モルタルを対象に、材齢 91 日より養生条件を 2 水準に変化させた試験を実施し、配合及び水和進行後からの養生条件の違いが圧縮強度増進性状に及ぼす違いについて、温度時間関数の適用性の観点から考察を試みた。

2. 試験概要

(1) 供試体の作製

LPC モルタル供試体の配合を表-1 に示す³⁾。配合は、細骨材に陸砂を 100%用いた「LFA」と、細骨材容積のうち 20%を人工軽量細骨材 (ALS, 吸水率 14.9%) で置換した「LFA-ALS」の 2 種類とした。両配合とも水結合材比 (W/B) は 30%, FA はⅡ種で内割置換率 30%である。混和剤には、カルボキシル基含有ポリエーテル系の高性能 AE 減水剤と空気量調整剤を使用し、スランプフローが 650±50mm, 空気量が 2.5±1.5%となるよう添加量を調整した。供試体はφ5×H10cmの円柱供試体とし、材齢 1 日で脱型、7 日まで 20℃湿布養生後、91 日まで 20℃封緘養生を継続した。

(2) 養生条件及び試験実施材齢

供試体の養生条件を表-2 に示す。養生条件は、材齢 91 日以降も 20℃封緘養生を継続するケース (20S) と、高温高湿による潜在的な水和反応を期待して、材齢 91 日より 60℃90%RH の環境に曝露するケース (60H) を設定した。圧縮強度試験の実施材齢は、7, 91, 119, 182 日とし、各試験とも常温環境下で実施した。

表-1 モルタル供試体の配合³⁾

配合種類	W/B (%)	FA/B (%)	S/B (-)	ALS/S (容積%)	空気量 (%)
LFA	30	30	2.5	0	2.5
LFA-ALS				20	

表-2 養生条件の設定

略称	1 日	7 日	91 日～ (材齢)
20S	封緘	20℃ 湿布	20℃封緘
60H	封緘	20℃ 湿布	20℃封緘 60℃90%RH

3. 試験結果

(1) 材齢による整理

材齢と圧縮強度の関係を図-1 に示す。養生条件 20S では、両配合の経時変化はほぼ一致している。一方、60H では、両配合ともに材齢 91 日から 119 日かけて強度の伸びが見られ、特に LFA-ALS の伸びが大きい。

図-2 は同期間中の LFA-ALS の細孔径分布の変化である。既報³⁾の分析によれば、LFA-ALS の方が ALS の吸水率分だけ内在水量が多く、高温高湿曝露後の顕著な細孔構造変化により、強度が大きく伸びたと推定している。

(2) 積算温度による整理

上記条件での圧縮強度増進性状に対し、温度時間関数の適用可能性を確認するため、積算温度による整理を行った。積算温度は以下の (式 1) で表される⁴⁾。

$$M = \sum (T + 10) \Delta t \quad \dots (式 1)$$

ここで、M: 積算温度 (DD), T: 期間 Δt のコンクリート温度の平均 (°C), Δt : 期間 (日) である。

各配合の積算温度と圧縮強度の関係を図-3 に示す。両配合とも、高温高湿曝露 (60H) 後に近似式から外れるが、それ以外は良好な線形関係が認められた。

なお、既往の研究¹⁾では、LPC の近似曲線は、ビー

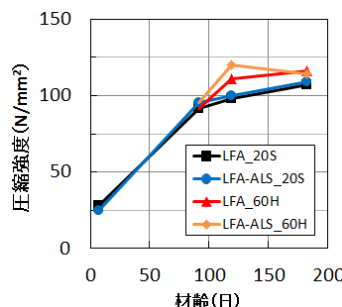
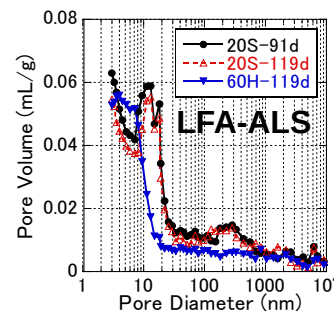


図-1 材齢と圧縮強度の関係

図-2 細孔径分布³⁾

キーワード 低熱ポルトランドセメント, 圧縮強度増進性状, 温度時間依存性, 積算温度, 等価材齢

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) 原子力本部 TEL 03-5381-5315

ライトの水和反応が顕著になる時期から強度が著しく増進するため、単一の曲線では表せず、250DD 付近で屈折した二直線で示されるとの報告もある¹⁾。つまり、これを本検討に適用した場合、屈折後の直線だけを取得・整理している可能性も考えられることから、今後、材齢7日以前の若材齢の圧縮強度の変化についても、補足的にデータを取得し確認する必要がある。

(2) 等価材齢による整理

他の温度時間関数として、見かけの活性化エネルギーに基づく等価材齢の適用を検討した(式2)⁵⁾。強度増進性状は、強度の発現勾配や収束傾向を表現できるゴンペルツ曲線(式3)による近似の方が、精度が良いとの記述がある⁴⁾。そこで、(式2)及び(式3)を用いて、配合ごとに20Sの材齢91日強度試験結果から F_{int} を規定し、20Sの各材齢での試験結果から非線形最小二乗法により実験定数 a, b を決定し、さらに全試験結果に対し、最小二乗法を適用して E を決定することで標準曲線を規定した。

ゴンペルツ曲線は、係数 a が大きいと初期強度発現が速く、係数 b が大きいと後期材齢で強度増進が緩やかに継続する。また、高温で E が大きいと等価材齢は大きくなる特徴を有する。

等価材齢と圧縮強度の関係を図-4に示す。

図-3及び図-4を比較すると、等価材齢を用いた場合、強度増進の温度時間的な非線形性が考慮され、積算温度を用いた場合より近似精度が向上することが確認できる。

LFAについては、 E を適切に設定することで、材齢91日以降の60Hにも追従している。このように、現時点まででは、水和進行後に養生条件が変化した場合でも、圧縮強度増進性状を等価材齢で一義的に表現できる可能性が示された。ただし、今後、20Sと60Hで違いが現れる可能性も考えられることから、引き続き経過観察が必要である。

一方、LFA-ALSについては、60H曝露後の急激な強度増進と停止をうまく表現できていない。LFA-ALSの急激な強度増進には、ペーストマトリックスの緻密化のみならず、ALS内包空隙への水和物析出による緻密化や改質影響も含まれることから、時空間的な強度発現過程が通常水和時と異なることで標準曲線から外れた可能性も考えられる。

4. まとめと課題

本検討の結果、LFAでは水和進行後に養生条件が変化した場合でも、等価材齢を用いて一義的に圧縮強度増進性状を表現できる可能性があることが暫定的ながら示された。今後、さらに材齢が経過した段階で同様に養生条件を変化させ、温度時間的な養生履歴の違いが強度増進に及ぼす影響について確認する考えである。また、LFA-ALSについては、高温負荷時の水分移動及び細孔構造形成過程を考慮可能な解析システムを用いて多面的に検討を進める。

参考文献

- 1) 小山宣幸ら：低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートの積算温度に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，1997
- 2) 谷口円ら：各種セメントを使用したコンクリートの圧縮強度増進性状，コンクリート工学年次論文集，2008
- 3) 木ノ村幸士ら：高温負荷による各種モルタル硬化体の物性変化，コンクリート工学年次論文集，2014（投稿中）
- 4) 日本建築学会：寒中コンクリート工事施工指針・同解説，1998
- 5) ASTM C 1074: Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method, 2000 ASTM Standards Vol.04.02

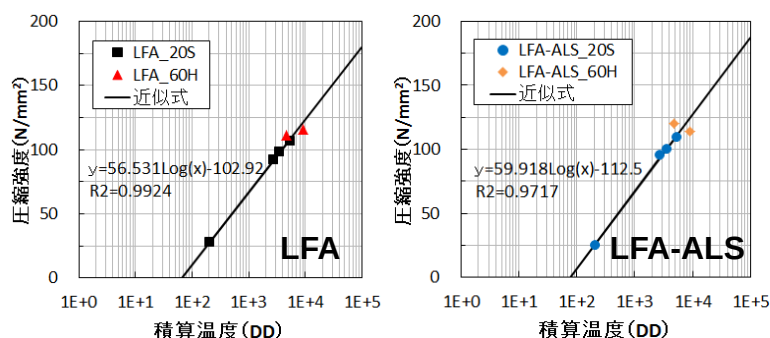


図-3 積算温度と圧縮強度の関係

$$t_e = \sum_0^t \exp \left(\frac{-E}{R} \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{293} \right) \right) \times \Delta t \quad \dots (式2)$$

ここに、 t_e : 等価材齢、 E : 見かけの活性化エネルギー(J/mol)
 R : 気体定数8.314J/molK
 T_c : 期間 Δt の間のコンクリートの平均温度(K)
 Δt : 温度 T_c である時間(日)

$$F = F_{int} \cdot \exp(a \cdot t_e^b) \quad \dots (式3)$$

ここに、 F_{int} : コンクリートの最終到達強度(N/mm²), a, b : 定数

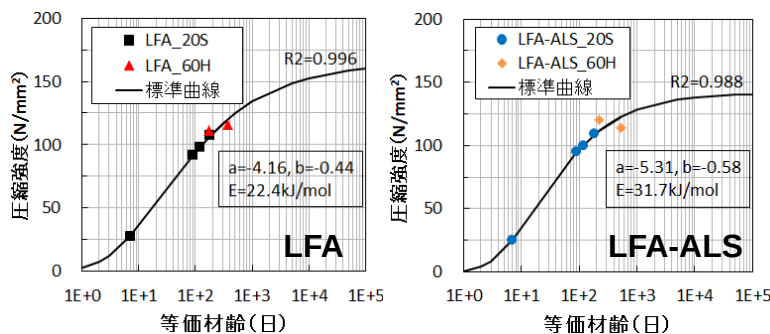


図-4 等価材齢と圧縮強度の関係