

低環境負荷型オートクレーブ養生に関する基礎研究

日本大学 正会員 ○山口 晋
日本大学 町長 治
日本大学 フェロー 越川 茂雄

日本大学 正会員 伊藤 義也
太平洋セメント(株) 鶴澤 正美
日本大学 学生会員 近藤 剛

1. 緒言

コンクリート製品の製造における加熱養生は一般的に用いられる高強度化手法の一つである。加熱養生は、早期脱型を図るための数十度程度の養生と、高強度なコンクリートを得るための 180℃のオートクレーブ養生（以下、AC 養生）に大別されるが、後者の AC 養生はボイラーで化石燃料を燃焼することにより蒸気を発生させ、AC 養生に温度と圧力を与えることによって実施されている。

近年世界中で環境意識が高まり、我が国でも温室効果ガスの削減を世界に提言したことからわかる様に、製造業における CO₂ の削減は急務である。例えば AC 養生温度を 30℃低下させることを目標とすれば、CO₂ ならびに化石燃料が 20%削減可能となることが我々の試算から明らかとなっている。

そこで本研究は、CO₂ や化石燃料の削減を目指して、低温でも従来の AC 養生と同等の高強度が得られる最適な配合条件、材料選定条件を導くことを研究の目的とした。今回は水/セメント比ならびに高強度コンクリートの製造には汎用的に添加されているケイ石微粉末量に着目し、硬化体圧縮強度への影響を検討した。

2. 実験方法

2-1. 試料および供試体

セメントには T 社製の普通ポルトランドセメント（密度:3.16g/cm³, 比表面積:3370cm²/g, SiO₂:20.3%, CaO:64.3%）を、混和材には T 社製のケイ石微粉末（密度:2.66g/cm³, 比表面積:3780cm²/g, SiO₂:94.2%, CaO:0.04%）を用いた。

セメントペーストの配合を表.1 示す。水/（セメント+ケイ石微粉末）:B は 25%で一定、ケイ石微粉末置換率をセメントの内割りで 0~45%とし、寸法 5cm×10cmL の円柱供試体を作製した。

2-2. 養生条件

昇温速度 80℃/h, 180℃および 150℃で 3 時間保持した。なお、練混ぜ及び成型は 20℃環境下で行い、AC 養生前には 20℃前養生-4 時間および最高温度 65℃-4 時間保持の常圧蒸気養生を行った。

2-3. 試験方法

圧縮強度試験は JSCE-G505-1999「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠した。各種試験は蒸気養生後と AC 養生後に実施した。また、トバモライトの生成の有無を確認するために、粉末 X 線回折を使用して、2θ=8° 付近の回折ピークを積分強度により評価した。

表.1 セメントペーストの配合

配合 No.	W/B (%)	W/C (%)	sip 置換率	単位体積重量 (kg/m ³)			
				C	sip	W	S
1	25	25.0	0	1765	0	441	
2		29.4	15	1500	265		
3		33.3	25	1324	441		
4		38.5	35	1147	618		
5		41.7	40	1059	706		
6		45.5	45	971	794		

sip:ケイ石微粉末

キーワード オートクレーブ養生 蒸気養生 高強度 ケイ石微粉末 トバモライト

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL047-474-2451

3. 実験結果および考察

3-1. 水/セメント比と圧縮強度

図.1 にケイ石粉末 25%置換時の水/セメント比と圧縮強度の関係を示す。150°CAC 養生および蒸気養生では一般的性質である水/セメント比に比例して、圧縮強度が増加する傾向が顕著である。しかし 180°CAC 養生では $C/W=3.0$ 付近まで増加したが、それ以降は下降した。これは、更なる高強化の手法として、単に水/セメント比を下げるだけでは解決しえないことを表しており、ケイ石粉末の種類や粒度など、またその必要性を含めて検討していく予定である。

3-2. ケイ石微粉末の置換率と圧縮強度

図.2 にケイ石微粉末置換率と圧縮強度の関係を示す。180°CAC 養生では、既往の文献と同様に¹⁾、ケイ石微粉末の置換率が 25%で最大の圧縮強度を示したが、それ以降の添加率では圧縮強度は低下した。また 150°CAC 養生および蒸気養生ではけい石粉末の添加率増加に伴い圧縮強度は低下した。ケイ石粉末置換率増加に従い W/C も低下しているため、どちらの要因が強度低下の主たる影響であるかについては今後さらに検討していく予定である。

3-3. トバモライトと圧縮強度

従来の知見では、トバモライトの生成量に比例して強度が高まっている²⁾。しかしながら、本実験の範囲では図.3 に示すようにトバモライトの生成は殆ど無い事が明らかとなった。本実験のような高強度、低水比域の AC 養生においては、トバモライトの生成は必須ではないことがわかる。高温養生における硬化体の $C-S-H$ の Ca/Si 比³⁾などに着目したさらなる実験・解析などを今後進めていく予定である。

4. まとめ

各種の水/セメント比およびケイ石微粉末置換率で作製した硬化体の圧縮強度ならびに XRD によるトバモライトの生成有無との関連を検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 180°CAC 養生では、150°CAC 養生および蒸気養生で認められた水/セメント比に比例して圧縮強度が増加する傾向は認められなかった。
- (2) 180°CAC 養生では、ケイ石微粉末の置換率が 25%で最大の圧縮強度を示した。150°CAC 養生および蒸気養生では置換率の増加に伴って強度は低下したが、ケイ石粉末置換率増加に伴う W/C の低下も要因の可能性もある。
- (3) 今回の実験の強度域では、トバモライトの生成は殆ど認められなかった。今後は、 $C-S-H$ の Ca/Si 比が

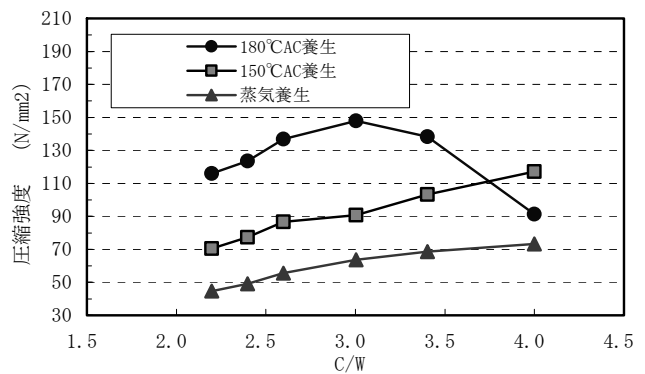


図.1 C/W と硬化体の圧縮強度

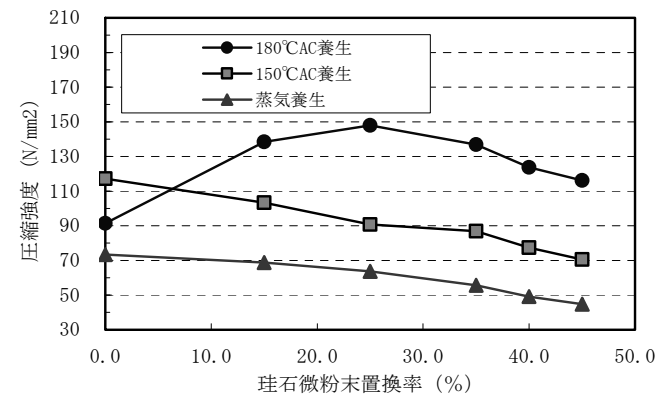


図.2 ケイ石微粉末の置換率と圧縮強度

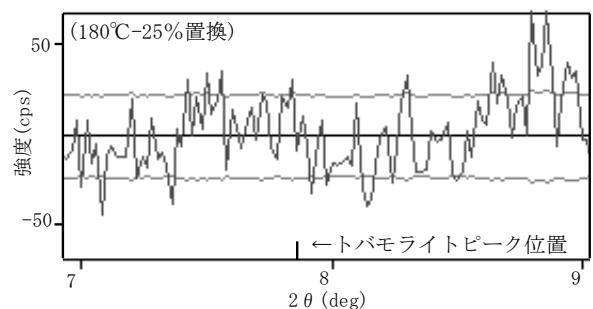


図.3 硬化体の粉末 X 線回折結果

強度へ及ぼす影響などを検討していく。

本研究は「平成 21 年度私立大学経常費補助金特別補助大学院高度化推進特別経費」(代表:町長 治)における研究の一環で得られた成果の一部である。

参考文献

- 1) 三谷裕二ほか: Ca/Si 比がオートクレーブ養生したセメント硬化体の諸特性に及ぼす影響, 第 63 回セメント技術大会講演要旨, pp.60-61, 2009
- 2) J. JAMBE: Proceeding of the conference of pore structure and properties of materials, vol. 11, book2, pp. D75-D96, 1973
- 3) 鶴澤正美ほか: シリカフューム混合セメントの各種養生条件における水和反応の違いと RPC の超高強度発現メカニズムの推定, 材料, Vol. 55, No. 1, pp. 114-121, 2006