

蒸気養生を受けるフライアッシュコンクリートの強度発現特性に関する基礎的研究

琉球大学大学院 学生会員 ○崎原盛伍, (株) 技建 宮野 伸介, 琉球大学 正会員 富山 潤, 琉球大学名誉教授 正会員 大城 武, 琉球大学 田中洋充, 琉球大学大学院 学生会員 金城和久

1. はじめに

近年, 施工性, 生産性, 品質管理および工期短縮等の面からプレキャストコンクリート部材の需要が高まっている。しかし, 沖縄県など塩害環境の厳しい地域では, その部材の使用に際して, 耐久性への対応が重要課題である。コンクリートの耐久性向上の対策は, 塩害劣化や ASR 劣化などへの対応が主である。塩害に対しては, コンクリート表面の塗装, 塗装鋼材の使用およびかぶり厚の確保などがその対策として挙げられる。

プレテンション PC 桁については, PC 鋼より線にエポキシ樹脂を塗装あるいは被覆した高耐久性 PC 鋼より線を使用することで製品桁の耐久性能を高めることが可能となっている¹⁾。その際, エポキシ樹脂の高温による軟化特性の観点から, プレストレス導入時のコンクリート温度を 66°C 以下に設定する必要がある。また, フライアッシュの使用によりコンクリートの耐久性能が改善されることが知られている²⁾。フライアッシュは ASR 劣化に対しても十分な抑制効果が確認³⁾されていることから, 今後, 高耐久性コンクリート部材の製作には, フライアッシュの使用が必須となるものと考えられる。しかし, プレキャストコンクリート部材の製作工程においては, 早期に所定の強度発現が要求されるために蒸気養生を施すのが一般的であるが, 蒸気養生などの高温履歴を受けるフライアッシュコンクリート (以下, FA コンクリートと称す) の強度発現に関する知見は少ないのが現状である。

そこで本研究では, 蒸気養生を受ける FA コンクリートの強度発現特性に関する基礎的研究を行い, そのメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 試験概要

フライアッシュの置換率は, フライアッシュセメント B 種を想定した 18%内割配合と, 混和材とした外割配合 25kg/m³ を用い, 蒸気養生条件をパラメータとした実験を行った。なお, 比較のためにフライアッシュ無混和のコンクリートについても同様の実験を行った。

蒸気養生条件は, 実際のプレテンション PC 桁製作工程 (作業工程) を考慮し, 前養生 3 時間, 最高温度 50°C および 60°C, 保持時間を 4 時間, 6 時間, 8 時間, 一次養生は打設後 18 時間までとし, それ以降の二次養生は気中養生と

した。蒸気養生の温度推移の模式図を図-1 に示す。また, 表-1 にコンクリートの配合を示す。設計基準強度は 50MPa とし, セメントは普通ポルトランドセメント (琉球セメント (株)) を使用した。また, フライアッシュは, JIS II 種灰 (電源開発 (株)) を使用し, 骨材は粗骨材に本部産石灰岩砕石, 細骨材に本部産石灰岩砕砂と新川沖産海砂の混合砂を使用した。海砂と砕砂の割合は, 7 対 3 である。

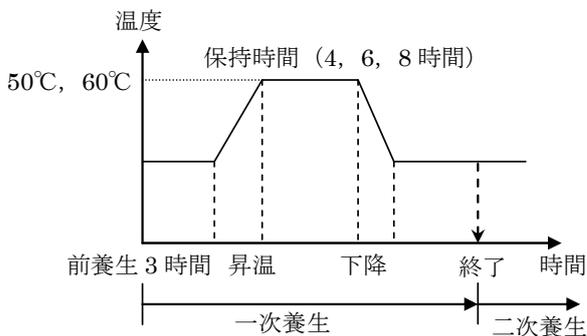


図-1 蒸気養生の温度履歴の模式図

表-1 コンクリート配合(kg/m³)

#	W/C	W	C	FA1	FA2	S1	S2	G
N	32.5	156	480	0	0	231	523	1048
FA	(%)		394	86	25	207	469	1048

N:普通コンクリート, FA:フライアッシュコンクリート, FA1:内割, FA2:外割, S1:石灰岩砕砂, S2:海砂, G:石灰岩砕石

温度測定のため, 図-2 に示す様に PC 桁製品を想定した断面 (高さ 67cm, 幅 64cm) を有する長さ 1m のコンクリートブロックを作製した。蒸気養生としては, コンクリートブロックにシートを被せ, シート内に蒸気をかける方法で行った。蒸気養生内 (シート内) の温度を蒸気養生温度として, 熱電対を用いて測定した。また, コンクリート中の温度として, コンクリートブロック上面から 5, 33.5, 62cm の位置で温度を測定した。なお, 桁軸方向の境界条件を考慮するために, 断熱材 (発泡スチロール) を桁両端に設置した。側面および底面は鋼板型枠とした。

また, 圧縮強度試験用試験体 (φ10×20cm) も養生シート内で蒸気養生を行った。

圧縮強度は, 桁製作工程を考慮し, 材齢 18 時間, 24 時間, 42 時間, 14 日に測定し, また同時に弾性係数の測定を行った。

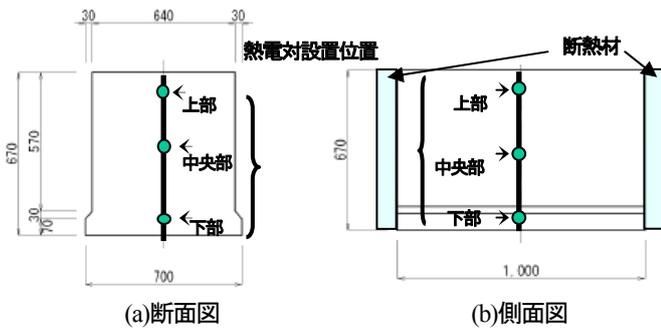


図-2 温度測定用コンクリートブロック

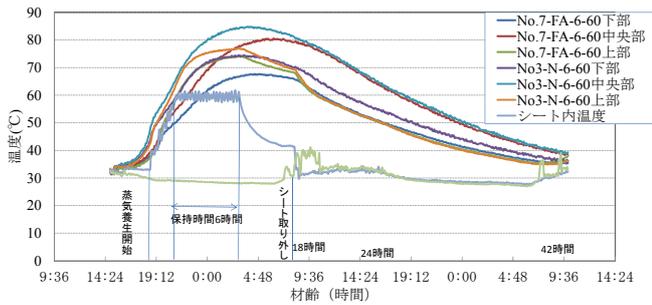


図-3 温度履歴(養生条件:保持時間6時間,最高温度60°C)

3. 試験結果および考察

ここでは、蒸気養生保持時間6時間、最高温度60°Cの結果を示す。図-3に温度履歴、図-4には材齢に応じた圧縮強度、図-5には弾性係数を示す。比較のため、蒸気養生保持時間6時間、最高温度50°Cの結果も示す。なお、図-3中の「上部」、「中央部」、「下部」は、それぞれコンクリートブロック上面から5、33.5、62cmの位置を示している。

普通コンクリート(以下、Nと称す)とフライアッシュコンクリート(以下、FAと称す)の温度履歴を比較すると「N」と「FA」の蒸気養生開始後の昇温温度の傾きが異なり、「FA」の傾きは「N」に比べ緩やかで、最高温度到達時間が遅い。また、最高温度も、「FA」が「N」に比べ低く、フライアッシュの明らかな温度抑制効果が確認できる。

図-4に示すコンクリート強度については、「N」、「FA」に関係なく、最高温度60°Cの養生条件の早期強度が高く、気中養生が最も低い。また、「N」と「FA」では、「N」の方が「FA」に比べ早期強度が高くなったが、「N」に比較し「FA」の強度の伸びは大きく、14日強度に関しては、「N」、「FA」、養生条件に関係なくほぼ同じ強度に達している。また、図-5に示す弾性係数も材齢14日でほぼ同じ値を示している。この結果から、材齢14日が経つとフライアッシュセメントあるいはフライアッシュを混和材として用いたとしても設計基準強度を満足することが示された。これは、フライアッシュをコンクリート材料に用いた際、問題となる早期強度や弾性係数の低下を、強度発現に対して最適な養生条件を設定することで解決できることを示唆している。

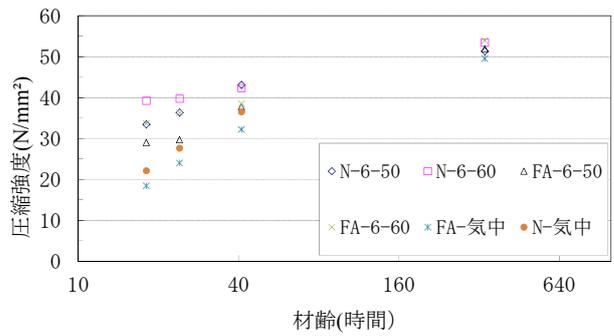


図-4 材齢-圧縮強度

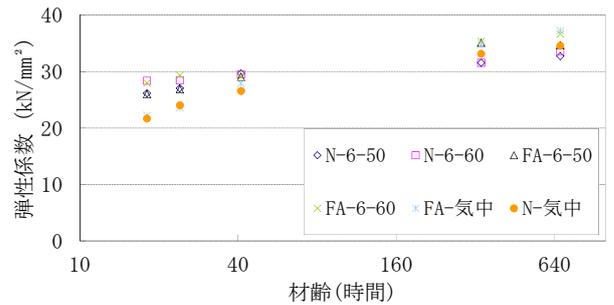


図-5 材齢-弾性係数

4. まとめ

本研究では、蒸気養生を受けたFAコンクリートの強度発現特性に関する基礎的研究を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 蒸気養生を受けた「FA」と「N」の温度履歴は異なり、「N」に比較し「FA」の昇温時の勾配は緩やかで、最高温度到達時間も遅い。また、「FA」は「N」に比較し、最高温度も低く、フライアッシュの明らかな温度抑制効果が確認できた。
- (2) コンクリートの早期強度は、養生条件に大きく影響を受け、強度発現に対して最適な蒸気養生条件を設定することで、コンクリート材料としてフライアッシュを用いた際の早期強度、弾性係数の低下の問題を解決できる。

謝辞: 本研究は(社)沖縄しまて協会の技術開発支援を受けた。また、研究を遂行するに当たり、(株)琉球セメント、電源開発(株)、沖縄ピーシー(株)に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 大城武, 富山潤, 平井圭: 全素線塗装型PC鋼より線を用いたプレテンションPC桁の耐荷性能に関する試験研究, 日本コンクリート工学会, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1045-1050, 20011.
- 2) 循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術, (社)土木学会, 2009.12.
- 3) 作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会: 報告書, (社)日本コンクリート工学協会, 2008.9